



SAVONIA

Laboratorion teollisuuskeskuksen kehittäminen

Aleksi Leskinen

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Aleksi Leskinen	
Työn nimi Laboratorion teollisuuskeskuksen kehittäminen	
Päiväys 26.11.2012	Sivumäärä/Liitteet 61/13
Ohjaaja(t) projekti-insinööri Henrik Sikanen, yliopettaja Juhani Rouvali	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää sähkölaitostekniikan laboratoriossa sijaitsevaa moottorilähtökeskusta ja parantaa sen tehokkuutta opetuskäytössä. Keskukseen on tarkoitus saada tulevaisuudessa käyttöön yksi tai useampia laboratoriotöitä, joten opinnäytetyön aikana tehty selvitystyö ja kehittämistoimet antavat hyvän pohjan keskuksen kehittämiseksi jatkossa. Työn tärkeimmäksi tavoitteeksi asetettiin automaatioliittynän tekeminen laboratorion MicroSCADA-käytönvalvontajärjestelmään. Muita tavoitteita työssä olivat erilaisten vikasimulaatiokytkentöjen sekä moottorilähtöjen suunnittelu ja toteutus.</p> <p>Työn alkuvaiheessa asetettiin tavoitteet sovelluksen toiminnalle, eli suunniteltiin yhdessä työtä ohjaavien opettajien kanssa, minkälaisia ohjauksia valvomosta täytyy olla mahdollista tehdä ja mitä mittausarvoja ja tilatietoja täytyy voida seurata. Tämän jälkeen alkoi varsinainen suunnittelu, jonka aikana selvitettiin tarvittavien kojeiden ja laitteiden tyytit ja määrät sekä niiden sijoitus. Uusien laitteiden asentamisen seurauksena tuli myös tarve tehdä uusia kaapelointeja. Suunnitteluvaiheen jälkeen tehtiin tarvittavat uudisasennus- ja muutostyöt ja testattiin rakennettujen laitteistojen eli valokaarisimulaation ja ohjauskeskuskokonaisuuden toiminta. Automaatioliittynän toteuttamiseen sisältyi luonnollisesti paljon ohjelmointityötä, joka tehtiin pääasiassa ABB:n asiantuntijan opastuksessa.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi valokaarisimulaatiokytkentä, jolla voidaan havainnollistaa valokaarireleen toimintaa sekä selektiivistä katkaisijasuojauksia. Lisäksi saatiin toteutettua automaatioliittynä, joka mahdollistaa mittaustietojen sekä hälytys- ja indikointitietojen lukemisen valvomosta sekä katkaisijan etäohjauksen.</p>	
Avainsanat moottorilähtökeskus, automaatioliittynä, käytönvalvontajärjestelmä, katkaisijavikasuojaus	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Aleksi Leskinen			
Title of Thesis Development of Industrial Distribution Board			
Date	26 November 2012	Pages/Appendices	61/13
Supervisor(s) Mr. Henrik Sikanen, Project Engineer, Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer			
Client Organisation/Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to develop an industrial distribution board and to improve its efficiency in educational use. The board is located in the electrical distribution laboratory at Opistotie campus of Savonia UAS. The main objective of this thesis was to connect the distribution board as part of the laboratory's MicroSCADA usage supervision system. Other goals were to plan different kinds of fault simulations and implement them.</p> <p>At the beginning of the project several goals and requirements for the application were determined. To meet these requirements, it was necessary to do a lot of planning work when thinking the technical implementation of the application. Finally, the plans that were made were implemented in practise, which required a lot of installation tasks.</p> <p>The connection to the automation system was completed, which made it possible to monitor several measurement values of the distribution board via control computer. It is also possible to control the circuit breaker of the board via control computer. As a result of this thesis a simulation connection of arc fault was made, and it helps students to get a better idea of arc protection and selective circuit breaker protection.</p>			
<p>Keywords</p> <p>industrial distribution board, usage supervision system, circuit breaker fault protection</p>			
Public			

ESIPUHE

Opinnäytetyö tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun Opistotien kampuksen sähkölaboratorioon.

Opinnäytetyön ohjaaja oli projekti-insinööri Henrik Sikanen ja tilaajan edustaja diplomi-insinööri Risto Rissanen. Automaatioliittymän tekeminen MicroSCADA-järjestelmään tehtiin tiiviissä yhteistyössä ABB:n asiantuntijan Jari Makilevon kanssa.

Haluan kiittää kaikkia edellä mainittuja henkilöitä suuresti saamistani avusta ja neuvoista opinnäytetyön teon aikana.

Kuopiossa 26.11.2012

Aleksi Leskinen

SISÄLTÖ

KÄSITTEITÄ JA LYHENTEITÄ	8
1 JOHDANTO	9
2 LÄHTÖKOHDAT	10
2.1 Verkkomalli.....	10
2.2 Laboratoriotöiden sähkösyöttö.....	11
3 YLEISTÄ TEOLLISUUDEN SÄHKÖVERKOISTA	13
4 MOOTTORILÄHTÖKESKUS	15
4.1 Sulakesuojaus.....	16
4.2 Relesuojaus.....	17
4.2.1 Ylivirtarele.....	18
4.2.2 Valokaarirele	19
4.3 Moottorilähtöjen tyypillisimmät kojeet ja laitteet	21
4.3.1 Katkaisija	21
4.3.2 Moottorinsuojakytkin.....	23
4.3.3 Ylikuormitusrele.....	23
4.3.4 Kuormankytkin	24
4.3.5 Kytkinvaroke	24
4.3.6 Kontaktorit ja apureleet.....	24
4.4 Mittalaitteet	26
4.4.1 Virtamuuntajat	26
4.4.2 Mitta-arvon muuntimet ja standardiviestit	30
5 OHJAUSKESKUKSEN SUUNNITTELU, ASENNUS JA KALUSTUS	33
6 JOHTOREITTIIEN ASENNUKSET JA KAAPELOINNIT	35
7 VALOKAARISIMULAATIO.....	37
7.1 Katkaisijoiden selektiivisyys.....	38
7.2 Ylivirtasignaali ja virta-asettelut.....	39
7.3 Valosignaali	42
8 AUTOMAATIOOLIITYNTÄ	43
8.1 Käytönvalvontajärjestelmä	43
8.2 RTU560-ala-asemalogiikka	43
8.3 Logiikan konfigurointi	45
8.3.1 Uuden projektin perustaminen ja projektimäärittely.....	45
8.3.2 IO-määrittelyt ja Excel Import	47
8.3.3 RTU-tiedostot ja niiden käsittely.....	49

8.4 SCADAn konfigurointi	51
9 MOOTTORILÄHTÖKESKUKSEN KÄYTTÖ	52
9.1 REF 543-kennoterminaalien asetteluryhmän vaihtaminen.....	52
9.2 Valokaarireleen asettelut ja käyttö	53
9.3 Valokaarisimulaation käyttö	54
9.4 Valvomon toiminnot.....	56
10 KESKUKSEN JATKOKEHITYS	58
11 YHTEENVETO	59
LÄHTEET	60

LIITTEET

- Liite 1 Laboratoriolaitteistojen sähkönsyötön kaavio
- Liite 2 Moottorilähtökeskuksen syöttökentän piirikaaviot
- Liite 3 Valokaarisimulaation piirikaavio
- Liite 4 Mittauskotelon johdotuskaavio
- Liite 5 Ohjauskeskuksen piirikaaviot
- Liite 6 Ohjausjohtokaavio

KÄSITTEITÄ JA LYHENTEITÄ

Tässä raportissa on käytetty seuraavia käsitteitä, lyhenteitä ja nimikkeitä:

JKL01	Laboratorion pääkeskus
MLK	Moottorilähtökeskus
VM	Verkkomalli
OK1	Ohjauskeskus
MK1	Mittauskotelo
RTU	Remote Terminal Unit, ABB:n ala-asemalogiikka
560MPR01	RTU560-logiikkakehikko
AMI	Analog Measured value Input, analoginen mittaustulo
DCO	Double Command Output, digitaalinen kaksikanavainen ohjauslähtö
DPI	Double Point Indication, kaksikanavainen tilatieto
SCO	Single Command Output, yksikanavainen ohjauslähtö
SPI	Single Point Input, yksikanavainen tilatieto
I/O	Input/Output
OI	Object Identifier

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää sähkölaitostekniikan laboratoriossa sijaitsevaa moottorilähtökeskusta ja parantaa sen tehokkuutta opetuskäytössä. Moottorilähtökeskuksen yhteyteen on tarkoitus saada tulevaisuudessa käyttöön yksi tai useampi laboratoriotyö. Aikaisemmin keskuksessa on voitu ainoastaan ohjata keskuksen pääkytkimenä toimivaa ilmakatkaisijaa paikallisesti sekä esitellä opiskelijoille tyypillisen moottorilähtökeskuksen rakennetta ja tärkeimpiä komponentteja. Opinnäytetyölle asetettiin useampia tavoitteita, joista tärkein oli kuitenkin automaatioliittynän tekeminen SCADA-järjestelmään.

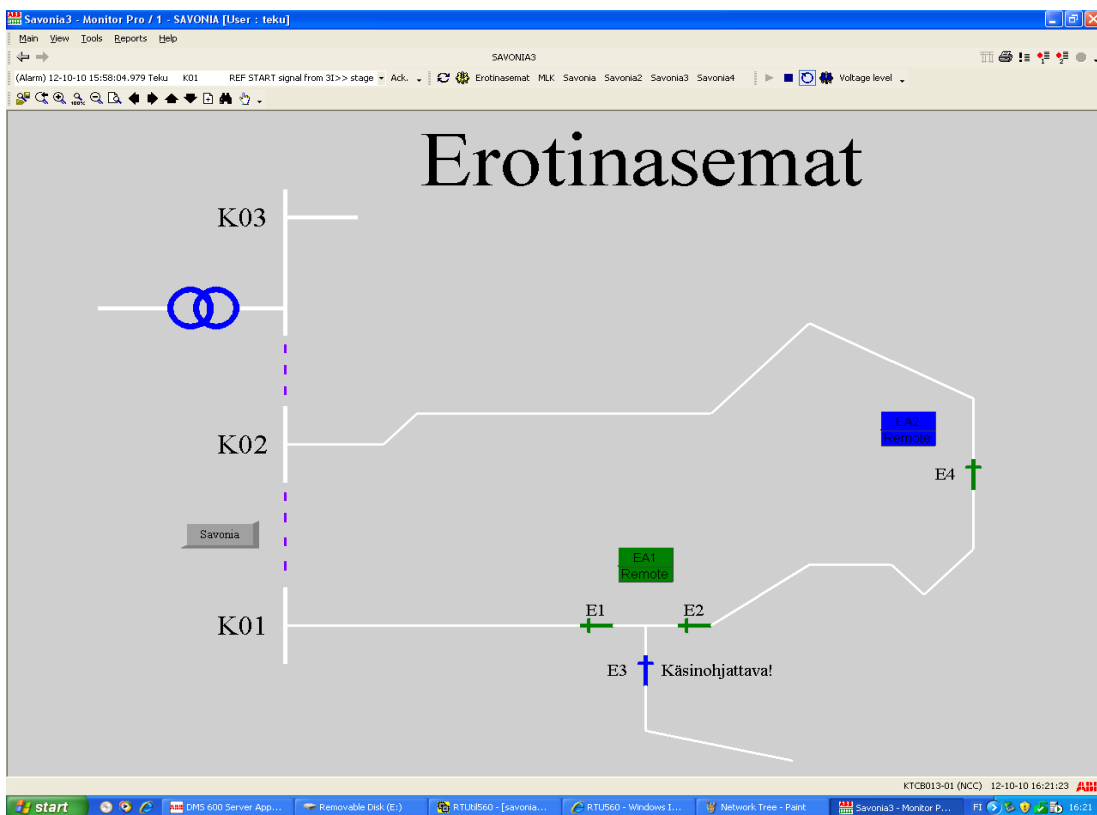
Kehittämisen yhteydessä suunnitellaan ja toteutetaan valokaarisimulaatio, joka antaa opiskelijoille hyvän käsityksen valokaarireleen toiminnasta ja käytöstä sekä selektiivisestä katkaisijasuojauksesta. Automaatioliittynä toteutetaan yhteistyössä ABB:n asiantuntijan kanssa. Lopuksi tehdyt toimenpiteet dokumentoidaan ja laaditaan kattava käyttöohje, jonka avulla järjestelmää on mahdollista käyttää tulevaisuudessa.

Tämän raportin alkuosassa esitellään lähtökohdat opinnäytetyön toteuttamiselle sekä luodaan yleiskatsaus teollisuuden sähköverkkoihin ja moottorilähtökeskukseen. Tämän jälkeen seuraa opinnäytetyön toteutukseen liittyvät osiot, joissa käsitellään varsinaisia kehittämistoimenpiteitä. Raportin lopussa on annettu hieman moottorilähtökeskuksen käyttöön liittyvää ohjeistusta. Lisäksi on luotu katsaus keskuksen tulevaisuuteen ja kerrottu muutamia toimenpiteitä, joilla keskuksen kehittämistyötä voisi jatkaa.

2 LÄHTÖKOHDAT

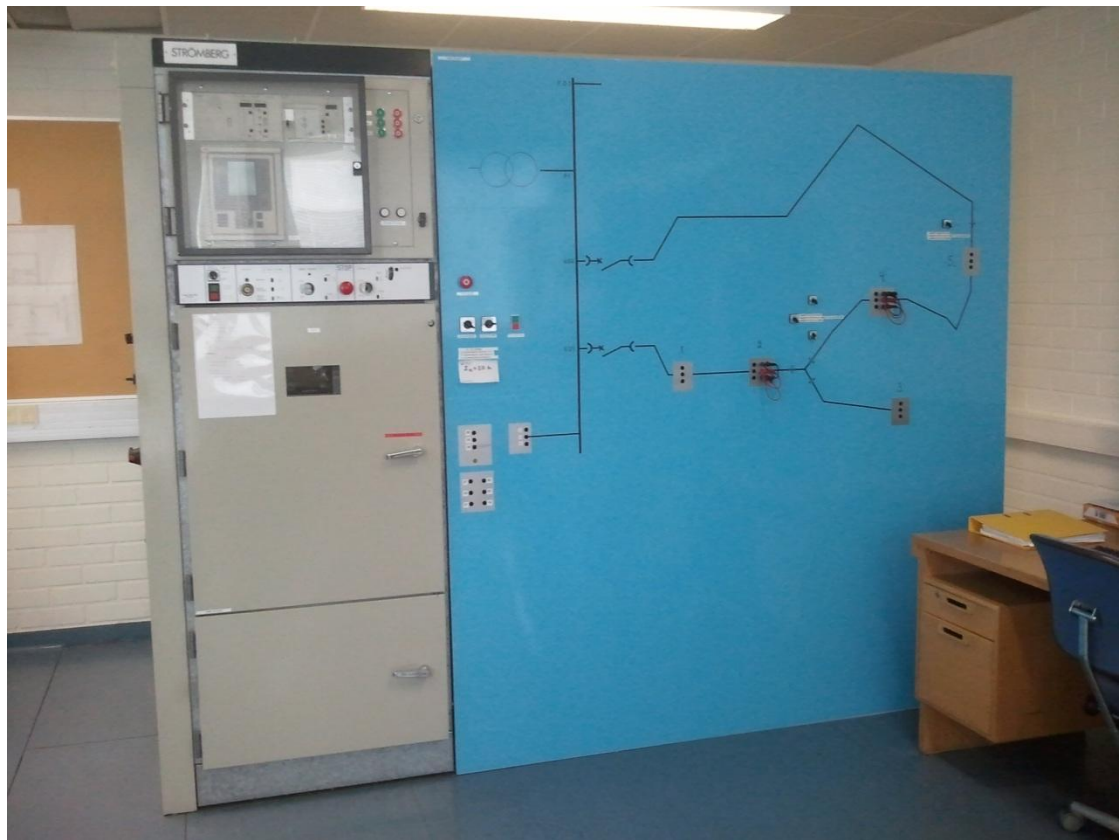
2.1 Verkkomalli

Sähkölaitostekniikan laboratoriossa sijaitseva verkkomalli kuvaa sähköasemaa sekä siihen kytkettyä keskijännitejohtoa. Johdon varrella on useita solmupisteitä, joihin voidaan tehdä keinotekoisesti erilaisia vikatilanteita, kuten oikosulkuja. Halutun vika-paikan ja vikatyypin valinta tehdään nokkakytkimillä ja varsinainen vian toteutus painonapilla. Solmupisteiden väliin on kytketty keskijännitejohtoa sähköisesti mallintavia resistansseja ja induktansseja, jotka on mitoitettu siten, että ne vastaavat halutun pituista avojohtoa. Solmupisteisiin on keskitetysti kytketty vaiheiden ja maan väliin kondensaattorit, jotka kuvaavat johdon maakapasitanssia. Verkkomallia voidaan käyttää valvomotietokoneelta SCADA-järjestelmän avulla. Lisäksi solmupisteistä mitatut virrat ja jännitteet sekä suojareleen vikatiedot voidaan lukea valvomosta käsin. Kuvassa 1 näkyy verkkomallin johtolähdön kuvaus valvomokoneella.



KUVA 1. Verkkomallin keskijännitejohtolähdön kuvaus valvomokoneella (Aleksi Leskinen 2012.)

Verkkomallin keskijännitejohto on rakenteeltaan yksinkertainen: siinä on silmukkatyyppinen runkoverkko, jonka yhdestä solmupisteestä lähtee yksi eriävä johtohaara. Kyseisessä haaroituspisteessä on myös kolme erotinta, joilla voidaan erottaa haara-johto verkosta kokonaan tai katkaista silmukoitu verkko. Koska johto on silmukkarakenteinen, myös sen toinen pää on kytketty samaan sähköasemaan. Näin ollen johtoa voidaan syöttää kummasta päästä tahansa, mikä mahdollistaa sen, että opiskelijoille voidaan havainnollistaa, kuinka keskijännitejohdon vian paikallistaminen tapahtuu erottimien kytkentöjen avulla. Verkkomallin johtolähdön rakenne näkyy kuvassa 2.



KUVA 2. Verkkomalli. Vasemmassa laidassa oleva kenttä kuvaa sähköaseman välijännitekennoa, jossa on SF₆-katkaisija, vaunuerotin, maadoituserotin, virtamuuntajat ja suoja-rele (Aleksi Leskinen 2012.)

2.2 Laboratoriotöiden sähkönsyöttö

Sähkölaitostekniikan laboratoriotöiden pääkeskuksena on samassa tilassa sijaitseva jakokeskus JKL01, josta syötetään sähkö kaikille muille mainituille laitteistoille paitsi erillisen keskuksen kautta syötettävälle kaukoluentatyölle. Kaukoluentatyön sähkönsyöttö on toteutettu JKL05-keskuksen kautta. Voimalaitossimulaattorille on oma lähtö jakokeskuksessa, joten sen käyttö ei ole millään tavalla riippuvainen muista laborato-

riotöistä. Sen sijaan verkkomalli ja moottorilähtökeskus ovat sidoksissa toisiinsa, koska MLK:n kiskojännite syötetään verkkomallissa sijaitsevan SF₆-katkaisijan kautta. Näin ollen verkkomallia ja moottorilähtökeskusta ei voi käyttää samaan aikaan.

Laboratoriotöiden sähkönsyöttö kytketään laboratoriotöiden pääkytkimellä, joka sijaitsee keskuksessa JKL01. Tämän jälkeen valitaan haluttu työ verkkomallin ja MLK:n väliltä työn valintakytkimellä eli vaihtokytkimellä 1, minkä seurauksena jännite kytkeytyy 20 kV:n kiskoa kuvaavaan virtakiskoon ja edelleen SF₆-katkaisijalle. Kun moottorilähtökeskus on käytössä, verkkomallityö voidaan ohittaa verkkomallin pääkytkimillä 1 ja 2. Tällöin varsinkin verkkomallin pääkytkin 2:n on tärkeää olla avattuna, jotta ei turhaan kuormitettaisi verkkomallin suojaerotusmuuntajan toisiokäämitystä.

SF₆-katkaisijan jälkeen syöttöverkossa on vaihtokytkin 2, jolla valitaan se laboratorio-työ, johon sähköä halutaan syöttää. Vaihtokytkimeltä sähkönsyöttö jatkuu MCMK 4x16+16 -kaapelia pitkin haaroituskoteloon, jossa jännite on jaettu MLK:n ohjausjännitteeksi sekä 400/42 V välimuuntajan kautta kulkevaksi kiskojännitteeksi. Välimuuntajan ensiöjännite on 400 V ja toisiöjännite 42 V, joka on erittäin harvinainen jännitetaso. Välimuuntajan tarkoituksena on mallintaa teollisuuden eri jännitetasoja siten, että 400 V vastaa 6 tai 10 kV:n jännitetasoa ja 42 V mallintaa teollisuudelle tyypillistä 690 V:n jännitettä. Näin ollen moottorilähtökeskuksen kiskojännite on 42 V, mutta ohjausjännite on normaali 230 V.

Moottorilähtökeskukseen on tarkoitus tehdä erilaisia oikosulkutilanteita mallintavia vikakytkentöjä, jolloin virta täytyy saada nousemaan kohtalaisen suureksi. Välimuuntaja palvelee myös tätä tarkoitusta hyvin, koska jännitetasoa laskemalla saadaan oikosulkuvirtaa kasvatettua niin, että oikosulkuteho saadaan pidettyä kohtalaisen pienenä.

3 YLEISTÄ TEOLLISUUDEN SÄHKÖVERKOISTA

Teollisuuden sähköjakeluverkkoa rakennetaan ja uudistetaan aina tuotantoprosessin tarpeiden mukaan. Verkostorakenteet voivat olla teollisuudessa hyvinkin pitkäikäisiä ja usein ne sisältävät eri aikakausilta peräisin olevaa tekniikkaa. Teollisuusverkolle on ominaista että siirrettävät tehot ovat suuria ja siirtoetäisyydet lyhyitä. Teollisuuskojeistojen täytyy olla energiansiirtokyvyltään suuria ja tästä syystä rakenteet ovat joskus melko massiivisia. Oikosulkutehot ovat suuret jo oman tuotannon vuoksi, ja niiden kasvamista edesauttaa verkon rakenne. Sähköjakelun luotettavuus korostuu teollisuusverkoissa, sillä keskeytyksestä aiheutuva taloudellinen haitta voi olla merkittävä. Tämän takia tuotannon keskeyttäviä huoltoseisokkeja pidetään harvoin ja osa huolto- ja kunnossapitotoimenpiteistä joudutaankin tekemään prosessien ollessa käynnissä. (Rissanen 2010.)

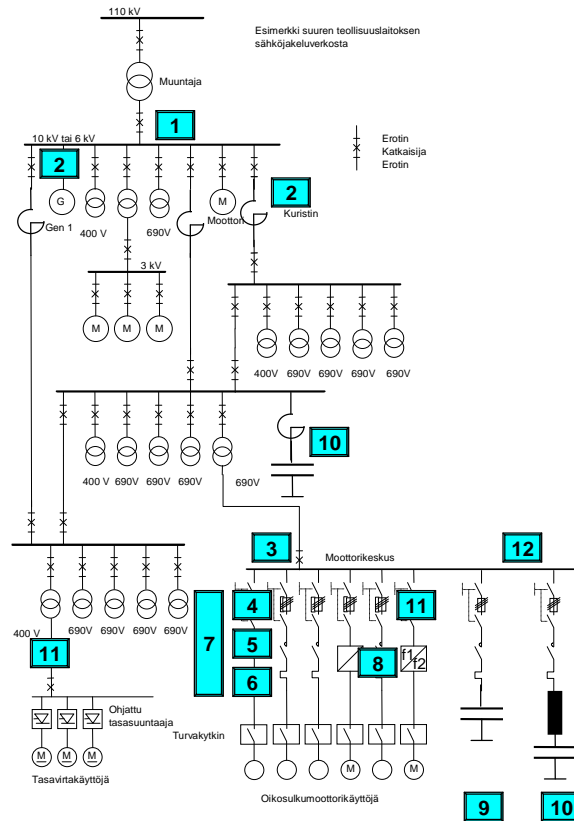
Yleisesti sähköverkko voi olla rakenteeltaan säteittäinen, rengasverkko tai silmukoitu verkko. Kaikilla verkostorakenteilla on omat etunsa ja haittansa, joten niitä vertailtaessa on otettava huomioon erinäisiä teknistaloudellisia näkökohtia, joita ovat esim. investoinnin hinta ja käytön taloudellisuus, sähköjakelun luotettavuus sekä verkon suojaus. Teollisuudelle tyypillisin ja yleisimmin käytössä oleva verkstörakenne on säteittäinen verkko, jonka etuina ovat selkeä yleisrakenne, yksinkertainen käyttö ja suojauksen helppo toteuttaminen. Säteittäisen verkon haittoiksi voidaan nimetä varasyöttöyhteyksien puuttuminen ja tästä seuraavat käyttökeskeytykset esim. huoltotöiden aikana. (Rissanen 2010.)

Teollisuudessa käytetään useita eri jännitetasoja, ja suuressa teollisuuslaitoksessa eri jännitetasojen nimellisjännitteiden välinen ero voi olla todella suuri. Raskas teollisuus liittyy yleensä suoraan kantaverkkoon, jolloin liityntäjännite on 110 kV. Pienemmät teollisuuslaitokset liittyvät sähköjakeluverkkoon käyttäen jännitetasona 20 tai 10 kV. Teollisuuslaitoksen sisäisessä sähköjakelussa käytetään 20 kV:n, 10 kV:n tai 6 kV:n jännitetasoa, riippuen laitoksen iästä ja suurimpien moottoreiden tehosta. 6 kV ja 10 kV ovat myös yleisiä jännitetasoja moottoreita ja generaattoreita käytettäessä. Näiden lisäksi moottorijännitteinä käytetään myös 3 kV:n, 690 V:n ja 400/230 V:n jännitteitä. Normaalialue verkkojännitettä tarvitaan myös kiinteistön sähköjakeluun eli valaistukseen, pistorasiaryhmiin ja erilaisiin turvajärjestelmiin. Lisäksi 230 V toimii erilaisten keskustien ohjausjännitteinä. (Lyytikäinen 2011, 10–11.) Teollisuuden ylei-

simmmät jännitetasot ja tyypillisimmät komponentit ovat nähtävissä kuvassa 3, jossa on esitetty suuren teollisuuslaitoksen sähköverkon pääkaavio.

Teollisuuden sähköverkko

1. Keskijännitekojeisto
2. Oikosulkuvirran rajoitus keskijännitteellä
3. 690 V:n kojeisto
4. Oikosulkusuojaus
5. Kontaktori
6. Ylikuormitussuojaus
7. Integroidut komponentit
8. Taajuusmuuttaja
9. Loistehon kompensointi
10. Yliaaltojen suodatus
11. Virtayliaallot
12. Jänniteyliaallot



KUVA 3. Suuren teollisuuslaitoksen sähköjakeluverkko sekä teollisuuden tyypillisiä komponentteja (Rissanen 2010.)

4 MOOTTORILÄHTÖKESKUS

Sähkökeskukset ovat useimmiten lämpimiin ja lukittuihin sisätiloihin asennettuja sähkön jakelu- tai haaroituspisteitä. Sähkökeskuksia voidaan asentaa joissakin tapauksissa myös ulkotiloihin ja kylmiin sisätiloihin sekä ilman lukitusta. Keskuksen asentaminen sähkötilaan suojaa sitä korroosiolta. Lisäksi keskuksen ollessa lukitun oven takana kuka tahansa ei pääse keskuksen läheisyyteen. Sähkötilat varustetaan yleensä myös koneellisella ilmanvaihdolla ja jäähdytyksellä, koska keskuksat lämpenevät käytön aikana. Keskuksia käytetään yleisesti sähköisten suoja-, ohjaus- ja kytkentälaitteiden keskittämiseen sekä teollisuudessa myös automaatiojärjestelmien ohjauskaappeina. Keskusvalmistuksessa huomioon otettavia asioita ovat kosketussuojauksen toteutuminen, kotelointiluokka, riittävä mekaaninen kestävyys (valokaartilanteet) sekä suojaus sähkömagneettisia häiriöitä vastaan. (Mäkinen & Kallio 2004, 108.)

Sähkökeskusten tyypillisimmät rakenteet ovat kennokeskus, kotelokeskus ja kaappikeskus. Kennokeskukset ovat teräslevystä valmistettuja, lattialla seisovia rakenteita, joita käytetään pää-, nousu-, ja alakeskuksina sekä moottorilähtökeskuksina tai näiden yhdistelmänä. Kennokeskus jaetaan pystysuuntaisiin tiloihin, joista käytetään nimitystä kenttä. Kentässä on yksi tai useampia kennoja, jotka voivat toimia mm. moottorilähtökennoina. Kennokeskuksen kaapelointi tehdään kaapelikentissä, jotka ovat kapeita pystysuuntaisia tiloja muiden kenttien välissä. (Mäkinen & Kallio 2004, 108–113.)

Sähkölaitostekniikan laboratorioon on hankittu ABB:n valmistama moottorilähtökeskus, joka näkyy kuvassa 4. Keskus soveltuu hyvin tämäntapaiseen teollisuuskojeistoon liittyvään työhön. Kyseessä on tyypillinen teollisuudessa käytetty kennokeskus, jossa on kolme kenttää: 01, 02 ja 03. Tässä työssä kentistä on käytetty myös nimityksiä syöttökenttä, lähtökenttä ja ohjausjännitekenttä. Syöttökenttä sisältää kokoojakikoston, ilmakatkaisijan, maadoituskytkimen, ohjausjännitemuuntajan sekä tarvittavat suojaus- ja mittauslaitteet. Kenttä 02 eli lähtökenttä on jaettu seitsemään kennoon, joissa on yhteensä kuusi moottorilähtöä. Kenttä 03 toimii ohjausjännitekenttänä, johon on kytketty keskuksen ohjausjännitteen syöttökaapeli. Ohjausjännitekentässä on ohjausjännitekisko, jonka kautta ohjausjännite jaetaan keskuksen muihin osiin.



KUVA 4. Sähkölaitostekniikan laboratoriossa sijaitseva ABB MLK- moottorilähtökeskus. Vasemmassa laidassa sijaitsee syöttökenttä, keskellä lähtökenttä ja oikeassa laidassa ohjausjännitekenttä (Aleksi Leskinen 2012.)

4.1 Sulakesuojaus

Sulake on virtapiiriin asennettava kertakäyttöinen suojalaite, jonka toiminnallinen osa on sähköä johtava liuska tai lanka, joka sulaa ja katkeaa, kun sen läpi johdetaan riittävän suuri virta. Sulakesuojausta käytetään pääsääntöisesti vain pienjännitteellä, mutta joissakin tapauksissa myös keskijännitteellä. Teollisuudessa käytetään yleisimmin kahvasulakkeita, mutta erilaisissa ohjaus- ja apusähköjärjestelmissä voidaan käyttää tulppasulakkeita. (Mäkinen & Kallio 2004, 92.)

Sulake kytketään osaksi virtapiiriä varokkeen avulla. Varoke on rakenne, joka käsittelee sulakkeen sekä laitteen, johon sulake asetetaan. Varoketyypeittäin se voi sisältää kaksi tai useampia osia. Yleisimpiä varoketyyppejä ovat:

- tulppavaroke (sisältää varokepohjan, pohjakoskettimen, varokekannen ja sulakkeen)
- kahvararoke (sisältää kahvasulakkeen asennusalustan sekä kahvasulakkeen)

- kytkinvaroke (sisältää kytkimellä varustetun kahvasulakkeen asennusalustan sekä kahvasulakkeen)
- varokekytkin (kahvasulakkeet toimivat kytkiminä)
- varoke-erotin (sisältää kiinteän asennusalustan ja saranoidun osan, jossa on pidikkeet kahvasulakkeille) (Mäkinen & Kallio 2004, 92.)

4.2 Relesuojaus

Sähköverkon suojaukseen käytetty suojarele on laite, joka antaa ohjaussignaalin katkaisijalle vikatilanteen sattuessa. Releitä voidaan käyttää erilaisten ohjaustoimintojen lisäksi myös merkinantoon ja hälytyksiin. Suojarele voidaan kytkeä suoraan suojattavan verkon päävirtapiiriin, jolloin on kyseessä ensiorele eli primäärirelle. Huomatavasti yleisempi kytkentätapa on kuitenkin se, että rele kytketään mittamuuntajan toisiopiiriin, jolloin käytetään nimitystä toisio- eli sekundäärirelle. Relesuojausta käytetään monenlaisissa sähköverkoissa ja useilla eri jännitetasoilla niin teollisuudessa kuin sähköjakelussakin. (Elovaara & Laiho 2001, 389.) Relesuojaukselle voidaan kuitenkin asettaa yleiset vaatimukset riippumatta suojattavasta verkosta:

- Relesuojaus on toteutettava niin, että se suojaa kattavasti koko verkoston.
- Suojauksen on toimittava riittävän nopeasti, jotta häiriön aiheuttamat vahingot jäävät mahdollisimman pieniksi.
- Suojauksen on toimittava selektiivisesti, jotta mahdollisimman pieni osa verkosta joutuu jännitteettömäksi häiriön tai vian seurauksena.
- Suojaus on toteutettava mahdollisimman yksinkertaisesti.
- Relesuojaus on voitava koestaa käytön aikana. (Elovaara & Laiho 2001, 389–391.)

Tärkeissä suojauskohteissa edellä mainittujen vaatimusten lisäksi voidaan joutua toteuttamaan suojareleistys kaksinkertaisena, jotta ehkäistään suojalaitteiston vikaantumisesta aiheutuvat käyttökatkot. Tärkeä suojauskohde on esimerkiksi valtakunnallinen kantaverkko, jossa sähkökatkos aiheuttaa luonnollisesti suurta haittaa. Relesuojausta suunniteltaessa huomioon otettavia asioita ovat suojattavan kohteen käyttötarkoitus ja tärkeys, verkon rakenne sekä verkon maadoitustapa. Teollisuusverkot ovat lähes aina rakenteeltaan säteittäisiä, ja säteittäisen verkon relesuojaus onkin helppo toteuttaa verrattuna rengasverkkoon ja silmukoituun verkkoon. Verkon maadoitustapa on hyvä tietää relesuojausta suunniteltaessa lähinnä siitä syystä, että se vaikuttaa verkossa esiintyvien maasulkuvirtojen suuruuteen. (Elovaara & Laiho 2001, 391.)

Suojarele havahtuu, kun sen tarkkailema suure ylittää tai alittaa releelle asetellun havahtumisarvon. Kun rele on ollut havahtuneena asetellun ajan, se antaa ohjattavalle katkaisijalle toimintavirikkeen. (Elovaara & Laiho, 392.) Releitä ja niiden käyttökohteita on olemassa useita, mutta tässä osiossa perehdytään vain opinnäytetyön kannalta tärkeimpiin releisiin eli ylivirtareleeseen ja valokaarireleeseen sekä niiden käyttötarkoituksiin. Muita tärkeitä reletyyppejä ovat:

- ylivirtareleet
- ali- ja ylijännitereleet
- taajuusreleet
- tehoreleet
- epäsymmetriareleet
- vertoreleet
- ali-impedanssireleet (Elovaara & Laiho 2001, 391–393.)

4.2.1 Ylivirtarele

Ylivirtareleen toiminta perustuu mittauspisteen kautta kulkevan virran jatkuvaan tarkasteluun. Ylivirtarelettä voidaan käyttää sekä ylikuormitussuojana että oikosulkusuojana. Verkon tärkeimmät kojeet ja laitteet, kuten moottorit, generaattorit ja kaapelit, suojataan integroivalla ylikuormitussuojalla, joka sisältyy mm. moottorinsuojareleeseen. Verkon selektiivisen oikosulkusuojauksen toteuttamistapoja on useita, ja ne voivat perustua esimerkiksi aikaselektiivisyyteen, virtaselektiivisyyteen sekä näiden yhdistelmään. Oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa myös differentiaalisuojauksena, joka perustuu saman suureen mittaukseen eri kohdissa ja mittausarvojen vertailuun. Säteittäisen verkon oikosulkusuojaukseen soveltuu parhaiten aikaselektiivinen suojaus, jonka periaatteena on asetella suojausportaiden toiminta-ajat erisuuruiseksi niin, että lähimpänä vikapaikkaa sijaitseva rele ehtii toimia ensimmäisenä. Virtaselektiivisyyttä käytetään silloin, kun suojattava haara sisältää paljon impedanssia lisääviä laitteita, esimerkiksi muuntajia. (ABB 2000, 217–226.)

Ylivirtarele voi toimia joko vakioaikaisena, jolloin toimintanopeus on sama kaikilla mitatun virran arvoilla, tai käänteisaikaisena, jolloin toiminta-aika on kääntäen verrannollinen mitatun virran suuruuteen. Eli mitä suurempi on mitattu virta, sitä nopeammin rele toimii. Tavallisesti aikaselektiiviseen suojaukseen käytetään vakioaikaylivirtareleitä, mutta käänteisaikaisen releen käyttö tulee kysymykseen silloin, kun on kyseessä säteittäinen verkko, jossa kytkentätilanteiden muutoksista johtuvat oikosulkuvirtojen tasot eivät juuri vaihtelee tai erot oikosulkuvirtatasoissa johtojen päiden välillä ovat

merkittäviä. Relesuojauksen toiminta-aikaa voidaan merkittävästi lyhentää käyttämällä suojausportaiden välisiä lukituksia, jolloin releen havahtuminen estää edeltävän suojausportaan toiminnan. (ABB 2000, 217–226.)

Moottorilähtökeskuksen syöttökentässä on ABB:n valmistama SPAJ 131 C -tyyppinen ylivirtarele, jota käytetään aika- ja virtaselektiivisyyteen perustuvissa ylikuormitus- ja oikosulkusuojissa. Relettä voidaan käyttää myös muuntajien ja generaattoreiden laitesuojana sekä keskijänniteverkon suojaukseen. Rele toimii kaksiporlaisena ylivirtasuojana, jossa on useita laukaisu- ja hälytystoimintoja. (ABB 1999/b.)

4.2.2 Valokaarirele

Kojeiston sisällä tapahtuva valokaarivika on pahin mahdollinen onnettomuus, mikä sähköverkossa voi tapahtua. Valokaarivauriosta aiheutuu yleensä mittavia aineellisia vahinkoja, ja lisäksi sähkölaitteiston käyttö- ja huoltohenkilöstö voi olla vaarassa. Valokaarivian syttymissyitä on useita, esimerkiksi epäsuotuisten ympäristöolosuhteiden seurauksena kiskojen tukieristimiin voi kertyä pölyä ja likaa, jotka saattavat kosteudessaan muodostaa sähköä johtavan sillan kahden vaihekiskon välille. Lisäksi valokaarivian syynä voi olla inhimillinen unohdus tai erehdys, esim. muutostyön aikana kojeiston sisään unohtunut työkalu tai muu johtava osa, joka yhdistää kaksi vaihekiskoa toisiinsa. Teollisuuskoeistoissa oikosulkuvirrat ovat yleensä hyvin suuria, ja valokaarioikosulussakin virta voi olla tuhansia ampeereita ja lämpötila voi kasvaa jopa 10000 °C:n suuruisiksi. Tällaiset olosuhteet synnyttävät kojeiston sisään niin suuren hetkellisen paineen, että se voi rikkoa kojeiston rakenteita. (ABB 2000, 311–313.)

Valokaaren seuraukset ilmenevät:

- valtavana lämpötilan nousuna valokaaren välittömässä läheisyydessä,
- kojeistopalona,
- myrkyllisinä kaasuina ja
- rakenteita rikkovana paineiskuna. (ABB 2000, 311–313.)

Kojeistojen rakenteita suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon valokaaren syttymiseen vaikuttavat asiat ja minimoida valokaaren syttymismahdollisuus. On kuitenkin taloudellisesti lähes mahdotonta rakentaa täysin valokaaren syttymiseltä suojattu kojeisto, joten rakenteet on suunniteltava sellaisiksi että valokaaren aiheuttamat vauriot saadaan pidettyä mahdollisimman pieninä. Valokaarivaurioita voidaan pienentää mm.

minimoimalla palokuormaa lisäävien rakenteiden käyttö kojeistossa sekä tekemällä kojeistoon purkaustiet, jotta valokaaren synnyttämä paine voi purkautua hallitusti ulos kojeistosta. (ABB 2000, 311–313.)

Valokaarivaurioiden kannalta tärkein tekijä on valokaaren palamisaika, jota valokaari-releillä yritetään minimoida. Valokaarirele koostuu kahdesta osasta; varsinaisesta releestä ja valokaarianturista. ABB:n valokaarireleissä valokaariantureita on rakenteeltaan kahdenlaisia; avokuitusensoreita ja linssityyppisiä sensoreita. Avokuitusensori on valokuitu, joka kierrätetään kaikkien suojattavien kojeiston osien läpi. Avokuitusensori tunnistaa valoa koko matkaltaan, mikä on etuna varsinkin toteutettaessa pitkälle osastoidun kojeiston valokaarisuojausta. Toisaalta avokuitusensorin haittapuolena on sen huono mekaaninen kestävyys. Linssityyppinen sensori havaitsee valoa vain sen päässä olevan linssin kautta, jolloin linssisensoreita tarvitaan yleensä yksi valvottavaa tilaa kohden. Linssityyppisen sensorin etuina ovat kuitenkin helppo asennettavuus ja hyvä mekaaninen kestävyys. (ABB 2000, 311–313.)

Avokuitusensori voi olla rakenteeltaan joko silmukka, jolloin kuidun molemmat päät on kytketty releeseen, tai säteittäinen, jolloin vain kuidun toinen pää on kytketty releeseen ja toinen pää on tulpattu. Silmukkatyyppisen sensorin etuna säteittäiseen nähden on sensorikuidun valvonta, jonka rele tekee niin että se lähettää kuidun toiseen päähän valopulsseja ja valvoo niiden saapumista toiseen päähän. (ABB 1999/a.) Valokaarisensorit havaitsevat myös muunkin kuin valokaaren aiheuttaman valon, kunhan se on tarpeeksi voimakas. Esimerkiksi kameran salamalaitteen tuottama valo riittää releen havahtumiseen. Näin ollen valokaarireleissä käytetään ylivirtatietoa lisäehtona laukaisulle, jotta vältettäisiin virhelaukaisut. Jotkin valokaarisuojalaitteet voivat antaa laukaisukäskyn jopa kahdessa millisekunnissa. (ABB 2000, 311–313.)

Moottorilähtökeskukseen on asennettu ABB:n REA 101 -tyyppinen valokaarirele, joka toimii osana opinnäytetyössä toteutettua valokaarisimulaatiota. Releessä on kaksi nopeaa puolijohteilla toteutettua potentiaalivapaata laukaisulähtöä katkaisijoiden ohjaukseen sekä yksi vahvavirtarelelähde esim. hälytyskäyttöön. Laukaisulähtöjen väliseksi viiveeksi voidaan asettaa joko 100 ms tai 150 ms. Etupaneelin Trip Condition -avainkytkimellä voidaan valita onko ylivirtaehto käytössä. Taustavalon kompensointi voidaan tehdä käsin tai valita tehtäväksi automaattisesti. Lisäksi releessä on itsevalvontayksikkö, joka valvoo jatkuvasti sensorikuitua, releen käyttöjännitettä sekä keskusyksikön ja mahdollisten laajennusyksiköiden välisiä johtimia. (ABB 1999/a.)

4.3 Moottorilähtöjen tyypillisimmät kojeet ja laitteet

4.3.1 Katkaisija

Katkaisijat ovat kytkinlaitteita, joita käytetään virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen. Katkaisijoita voidaan ohjata sekä käsin että automaattisesti. Käsinohjaus tapahtuu yleensä katkaisijan etupaneeliin sijoitetuilla auki- ja kiinniohjauspainikkeilla. Tyypillisin tilanne automaattisesta ohjauksesta on katkaisijan aukiohjaus oikosulun tai maasulun aiheuttaman ylivirran seurauksena. Tällöin aukiohjauskäskyn antaa virtapiiriä valvova rele. Katkaisijalle on tyypillistä että se kykenee katkaisemaan ja kytkemään moninkertaisesti nimellisvirtaansa suuremman virran vaurioitumatta. Tämä seikka erottaa kin katkaisijan muista kytkinlaitteista, kuten kytkimestä ja erottimesta. (Elovaara & Laiho 2001, 262.) Teollisuudessa katkaisijoita käytetään suur- ja pienjännitekojeistojen, keskusten sekä yksittäisten laitteiden suojaamiseen. Katkaisijaa käytetään teollisuudessa yleisesti myös keskuksen pääkytkimenä. (Mäkinen & Kallio 2004, 115–116.)

Tärkeimmät katkaisijan valintaan vaikuttavat ominaisarvot ovat nimellisjännite ja –virta sekä katkaisukyky ja sulkemiskyky. Nimellisjännite tarkoittaa katkaisijan suurinta sallittua käyttöjännitettä, jonka mukaan määräytyvät katkaisijan eristysten jännitelujuusvaatimukset. Nimellisvirta eli kuormitettavuus on katkaisijan suurin sallittu kuormitusvirta jatkuvassa tilassa, eli normaalissa käyttötilanteessa kun katkaisija on suljettuna. Kuormitettavuudessa täytyy ottaa huomioon myös se seikka, ettei standardoituja lämpenemisarvoja tulisi ylittää. Katkaisukyky kertoo suurimman virta-arvon, jonka katkaisija pystyy nimellisjännitteellään napaoikosulussa katkaisemaan. Katkaisijaa valittaessa on tarkistettava, ettei oikosulkuvirran arvo ylitä katkaisukykyä missään tilanteessa nimellisjännitteellä. Katkaisijan valintaan vaikuttaa edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi mm. ohjaustapa, apukoskettimien määrä, katkaisijan asennustapa sekä huollon tarve. (Elovaara & Laiho 2001, 262.)

Katkaisijoita on rakenteeltaan kolmenlaisia: kiinteästi asennettavia, kennosta ulosvedettäviä sekä irrotettavia. Katkaisijoita voidaan jaotella myös niiden katkaisukammion eristeaineen perusteella. Eristeaineena käytetään yleensä ilmaa, öljyä tai SF₆-kaasua. Yleisimmät pienjännitteellä käytetyt katkaisijatyypit ovat ilmakatkaisija ja kompaktikatkaisija. (Lyytikäinen 2011, 50.)

Ilmakatkaisijoita käytetään pienjännitteisten pääkeskusten pääkatkaisijoina sekä suurten moottorien käynnistiminä. Ilmakatkaisijassa katkaisukammion eristeaineena on normaalipaineinen ilma ja katkaisukärjet ovat suojattu tulenkestävällä ja eristävällä valokaarisuojuksella. (Elovaara & Laiho, 263.) Normaalisti ilmakatkaisijat ovat metallirunkoisia ja ohjaustoiminnot suoritetaan jousivoimalla. Jouset voidaan virittää joko käsin tai sisäänrakennetulla jousien viritysmoottorilla. Ilmakatkaisijoissa on sisäänrakennettuna aseteltava ylivirtarele. (Mäkinen & Kallio 2004, 115.)

Kompaktikatkaisijoita käytetään ylivirtasuojina pienjännitteisissä jakeluverkoissa, moottorien käynnistimien suojana sekä kuorman erottimina. Kompaktikatkaisija koostuu itse katkaisijasta ja suojareleestä. (Mäkinen & Kallio 2004, 115–116.) Yleisesti ottaen kompaktikatkaisijan kotelo on valettu eristeaineesta ja pääkoskettimia käytetään suoraan käyttövivun avulla mekaanisesti. (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 249.)

Johdonsuojakatkaisijoita käytetään sähkölaitteistoissa yleisimmin valaistus- ja pistorasiaryhmien oikosulku- ja ylikuormitussuojina ja moottorilähdöissä vain ohjausjännitepiirien suojaamiseen. Johdonsuojakatkaisija rakentuu oikosulkusuojana toimivasta magneettisesta pikalaukaisijasta sekä ylikuormitussuojana toimivasta hidastetusta termisestä laukaisijasta. Johdonsuojakatkaisija on luonteeltaan virtaa rajoittava suoja-laite, eli oikosulkutilanteessa laukaisu tapahtuu niin nopeasti, ettei virta pääse kasvamaan vaarallisen suureksi. Johdonsuojakatkaisijan toimintanopeus riippuu katkaisijan tyypistä ja eritoten tälle tyypille määritellystä toiminta-aikakäyrästä. Toiminta-aikakäyrät on määritelty erilaisille kuormituksille, ja katkaisijatyypin valintaan vaikuttaaakin eniten kuormituksen laatu. (Mäkinen & Kallio 2004, 116.) Yleisimmät toiminta-aikakäyrät on esitelty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Johdonsuojakatkaisijoiden toiminta-aikakäyrät (Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2009, 250.)

Toiminta-aikakäyrä	Kuormitustyyppi	Esimerkkejä käyttökohteesta
B	Resistiivinen	Valaistus ja lämmitys
C	Resistiivinen ja lievästi induktiivinen	Lämmitys- ja pistorasiaryhmät
D	Induktiivinen	Moottorikäytöt
K	Induktiivinen	Moottorit, muuntajat
Z	Puolijohdepiirit	Piirit, joissa on pieni oikosulkuvirta

4.3.2 Moottorinsuojakytkin

Moottorinsuojakytkimiä käytetään moottorien suoraan käynnistämiseen ja pysäyttämiseen sekä niiden ylikuormitussuojana. Moottorinsuojakytkimen laukaisutoiminto perustuu bi-metalliliuskaan, jota kytkimen läpi kulkeva virta lämmittää, minkä seurauksena liuska taipuu ja laukaisee mekaanisen kytkimen asetellulla virran arvolla. Normaalisti laukaisuvirran arvo asetellaan suojattavan moottorin nimellisvirran mukaan, mutta koska kytkimen toiminta perustuu lämpötilaan, täytyy ympäristön lämpötila ottaa huomioon laukaisuvirta-arvoa aseteltaessa, mikäli se poikkeaa merkittävästi huonelämpötilasta. Moottorinsuojakytkin ei sovellu oikosulkusuojaukseen. (Mäkinen & Kallio 2004, 117.)

4.3.3 Ylikuormitusrele

Ylikuormitusreleitä eli lämpöreleitä käytetään moottorien ylikuormitussuojina. Ylikuormitusreleet pystyvät tunnistamaan moottorilähdön päävirtapiirissä kulkevan ylivirran mutta eivät voi katkaista sitä, koska niissä ei ole avautuvia pääkoskettimia. Tästä syystä niitä käytetään vain yhdessä kontaktorin kanssa, jolloin nämä kojeet muodostavat kokonaisuuden, jota nimitetään käynnistimeksi. Lämpörele kiinnitetään mekaanisesti kontaktorin pääkoskettimiin ja sen ohjausliittimet johdotetaan osaksi kontaktorin kelan ohjauspiiriä. Ylikuormitustilanteessa lämpörele ohjaa kontaktorin pääkoskettimet auki, minkä jälkeen rele täytyy yleensä kuitata käsin. (Mäkinen & Kallio 2004, 118.)

4.3.4 Kuormankytkin

Kuormankytkimiä käytetään moottorilähdöissä yleensä laitteiden luotettavaan erottamiseen verkosta esim. huoltotöiden ajaksi sekä laitteen odottamattoman käynnistykseen estämiseksi. Tällöin käytetään nimitystä turvakytkin. Lisäksi kuormankytkimiä käytetään keskusten pääkytkiminä sekä kiskostojen ja kaapeleiden erottamiseen. Erottamiseen soveltuvat kuormankytkimet täyttävät standardin SFS 6002 vaatimukset luotettavasta asennon osoituksesta. Lisäksi ne täyttävät erottimen erottamisvaatimukset ollessaan auki-asennossa. (Mäkinen & Kallio 2004, 118.)

4.3.5 Kytkinvaroke

Kytkinvaroke on laite, joka yhdistää kuormankytkimen sekä kahvasulakkeille tarkoitetun varokealustan. Kytkinvarokkeita käytetään yleensä suuritehoisten moottorilähtöjen erottamiseen verkosta sekä niiden oikosulkusuojana. Kytkinvaroke kiinnitetään keskukseen moottorilähtökennon pohjaan, mutta kytkimen väännin asennetaan kennon kanteen. Kytkimen ollessa kiinni väännin lukitsee lähtökennon kansiluukun, jolloin kantta ei saa turvallisuussyistä auki ilman työkalua. Kun kytkin käännetään auki-asentoon, sulakkeiden molemmiin puolin olevat koskettimet avautuvat ja lähtöliittimet tulevat jännitteettömiksi. Tällöin moottorilähtö on erotettu verkosta ja sulakkeet voidaan vaihtaa turvallisesti. (Mäkinen & Kallio 2004, 119–120.)

4.3.6 Kontaktorit ja apureleet

Kontaktorit ja erilaiset releet ovat erittäin keskeisessä asemassa, kun puhutaan moottorilähtöjen komponenteista ja ylipäättään teollisuuden sähköasennuksista. Kontaktorien ja releiden toimintaperiaate on sama, ja niiden eroavaisuudet ovatkin lähinnä fyysisessä koossa, nimellisarvoissa sekä käyttötarkoituksessa. Kontaktorit ja releet sisältävät rautasydämisen kelan, joka virralliseksi tullessaan magnetoituu ja vetää puoleensa liikkuvaa rautasydäntä, jonka kehikkoon kiinnitetyt koskettimet joko avautuvat tai sulkeutuvat. Releillä on yleensä yksi avausväli vaihetta kohti, kun niitä kontaktorilla on yleensä kaksi. (Mäkinen & Kallio 2004, 121–123.)

Releitä käytetään yleensä erilaisissa ohjausvirtapiireissä, joilla ohjataan päävirtapiiriin kytkettyä kontaktoria. Releissä on tyypillisesti yksi tai useampia vaihtokoskettimia,

kun kontaktoreissa on kolme pääkosketinsarjaa (L1, L2, L3) sekä muutamia avautuvia ja sulkeutuvia apukoskettimia. Samoin kuin johdonsuojakatkaisijan valinnassa, on kontaktoria valittaessakin tiedettävä, minkälaista kuormitusta kontaktorilla aiotaan ohjata. Tämä seikka on tärkeä esim. moottorilähdön kontaktoria valittaessa, sillä induktiivisen kuorman kytkentä aiheuttaa itseinduktion, mistä seuraa kipinäointia kontaktorin koskettimissa. Erilaisten kytkentäolosuhteiden perusteella kontaktoreille on määriteltä useita eri käyttöluokkia, joista teollisuuskäytössä tärkeimmät on esitetty taulukossa 2. (Mäkinen & Kallio 2004, 121–123.)

TAULUKKO 2. Kontaktorien käyttöluokat (Mäkinen & Kallio 2004, 123.)

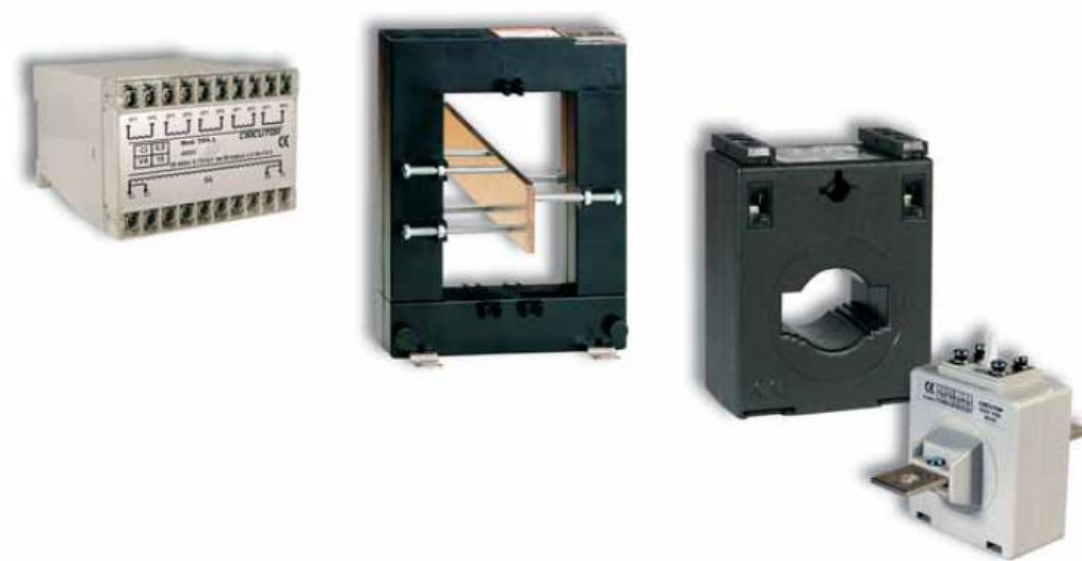
Käyttöluokka	Kuormitus
AC1	Helpot kytkentäolosuhteet, resistiiviset ja induktiiviset kuormat.
AC2	Normaalit kytkentäolosuhteet.
AC3	Vaikeat kytkentäolosuhteet: oikosulkumoottorin käynnistimenä, kun kiinnikytkevirta on sama kuin moottorin käynnistysvirta.
AC4	Erittäin vaikeat kytkentäolosuhteet: oikosulkumoottorin käynnistimenä, kun kytketään ja katkaistaan moottorin käynnistysvirtaa, tehdään vastavirtajarrutuksia ja suunnanvaihtoja.

Releitä käytetään tyypillisesti myös välittämään kosketintietoja automaatiojärjestelmään. Kahden eri jännitetason käyttö voi olla pakollista niissä tapauksissa, kun halutaan välittää prosessin kosketintietoja automaatiojärjestelmään. Juuri tällainen tilanne oli kyseessä opinnäytetyön aikana toteutetussa sovelluksessa. Prosessissa tarvittiin apureleitä, joita tässä työssä kutsutaan myös välireleiksi. Välireleitä tarvittiin sovittamaan logiikan syöttämä prosessijännite (24 VDC) ja moottorilähtökeskuksen ohjausjännite (230 VAC) yhteen siten, että ne on galvaanisesti erotettu. Välireleitä valmistetaan useamman kelajännitteen arvolla, ja kosketinjännite poikkeaa monesti kelajännitteestä. Indikointeihin eli kosketintietoihin tarvittiin välireleitä, joissa kelajännite on 230 VAC ja logiikalla suoritettaviin ohjauksiin tarvittiin kelajännitteen 24 VDC omaavia välireleitä.

4.4 Mittalaitteet

4.4.1 Virtamuuntajat

Virtamuuntaja on rakenteeltaan normaalin muuntajan kaltainen, eli siinä on ensiö- ja toisiokäämitys sekä niiden läpi kulkeva rautasydän. Virtamuuntajalle on ominaista, että sen molemmissa käämeissä on vähän kierroksia, ja ensiökäämin kierrosluku on yleensä pienempi kuin toisiokäämin. Virtamuuntajia käytetään normaalisti suuren ensiöpuolen virran muuntamiseen pienemmäksi toisiovirraksi, joka voidaan mittalaitteen avulla mitata. Lisäksi virtamuuntaja suojaa mittauspiiriä erottamalla ensiö- ja toisiopiirin toisistaan galvaanisesti, jolloin vikatilanteessa syntyvä ylivirta ei pääse toisiopiiriin. (Sikanen 2011.) Virtamuuntajassa voi olla yksi tai useampia sydämiä. Mittaukseen käytettävää sydäntä nimitetään mittaussydämeksi ja suojaukseen käytettävää sydäntä suojaussydämeksi. Virtamuuntajien toiminnalle asetetut vaatimukset on esitetty mm. standardissa IEC 60044-1. (ABB 2000, 286–290.)



KUVA 5. Erään valmistajan virtamuuntajia (UTU POWEL Oy 2008.)

Virtamuuntajien tärkeimmät tekniset tiedot ovat:

- **Mitoitusensiövirta I_{pn}** eli muuntajan ensiöpiirin nimellisvirta. Standardin mukaiset mitoitusensiövirran nimellisarvot ovat: 10 – 12,5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 A sekä näiden kymmenpotenssikerrannaiset ja –osat. Jotkin virtamuuntajat voivat soveltua kahdellekin ensiövirta-arvolle, jolloin molemmat arvot on merkitty muuntajaan, esim. 10 – 100 A.

- **Mitoitustoisiovirta I_{sn}** , jonka standardin mukaiset arvot ovat 1 A, 2 A ja 5 A.
- **Terminen mitoitusvirta I_{th}** eli suurin ensiövirta, minkä virtamuuntaja kestää 1 s ajan termisesti vahingoittumatta toisiopiiri oikosuljettuna.
- **Dynaaminen mitoitusvirta I_{dyn}** eli suurin ensiövirta, jonka aiheuttamat sähkömagneettiset voimat muuntaja kestää toision ollessa oikosulussa.
- **Mitoitustaakka S_n** on suurin kuormitusimpedanssi, jolla virtamuuntajaa voidaan kuormittaa kyseisessä tarkkuusluokassa. Normaalisti nimellistaakka ilmoitetaan kuitenkin tehona, joka voidaan laskea kertomalla mitoitustaakka nimellistoisiovirran neliöllä. Mitoitustaakan standardoidut arvot ovat 2,5 – 5 – 10 – 15 ja 30 VA. Tosin muitakin nimellistaakan arvoja käytetään.
- **Mittarivarmuuskerroin F_s** ilmaisee virtamuuntajan kykyä suojata siihen kytkettyjä mittareita ylivirralla. Kertomalla mittarivarmuuskerroin nimellisensiövirralla saadaan selville se ensiövirran arvo, jolla yhdistetty virhe on vähintään 10 %. Mitä pienempi mittarivarmuuskerroin on, sitä paremmin virtamuuntaja suojaa siihen kytkettyjä laitteita ylivirralla. Mittarivarmuuskertoimen arvoja ei ole standardisoitu, mutta yleisimmin käytettyjä arvoja ovat 5 ja 10. (ABB 2000, 286–290.)

Muita virtamuuntajalle ilmoitettavia tietoja ovat nimellisjännite, mitoitustaajuus, eristystaso, sisätaakka, mitta-alueen laajennuskerroin ja tarkkuusluokka. Virtamuuntajien tarkkuusluokat määräytyvät suurimpien sallittujen virta- ja kulmavirheiden perusteella. (ABB 2000, 286–290.)

Virtavirhe määritellään yhtälöllä

$$\text{Virtavirhe} = \frac{K_n I_s - I_p}{I_p} * 100\% \quad (1)$$

jossa

K_n = nimellismuuntosuhde

I_p = todellinen ensiövirta

I_s = todellinen toisiovirta, kun ensiövirta on I_p (ABB 2000, 287.)

Kulmavirhe on ensiö- ja toisiovirran ajallinen vaihesiirtokulma, joka määritellään niin että se on positiivinen silloin kun toisiovirta on ensiövirran edellä. (ABB 2000, 286–290.) Mittaussydamelle sallitut virheiden maksimiarvot on esitetty taulukossa 3 ja suojaussydämen vastaavat arvot on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 3. Mittaussydämelle sallitut virheiden maksimiarvot. Virta I_p on todellinen ensiövirta ja I_{pn} on nimellisensiövirta. Virherajat ovat päteviä luokissa 0.1...1, kun taakka on 25–100 % nimellistaakasta ja luokissa 3 ja 5 taakan ollessa 50–100 % nimellistaakasta. (ABB 2000, 287.)

Luokka	Virtavirhe $\pm \%$					Kulmavirhe $\pm \text{min}$			
	$I_p = I_{pn} \times$					$I_p = I_{pn} \times$			
	0,05	0,2	0,5	1,0	1,2	0,05	0,2	1,0	1,2
0.1	0,4	0,2		0,1	0,1	15	8	5	5
0.2	0,75	0,35		0,2	0,2	30	15	10	10
0.5	1,5	0,75		0,5	0,5	90	45	30	30
1	3,0	1,5		1,0	1,0	180	90	60	60
3			3,0		3,0				
5			5,0		5,0				

TAULUKKO 4. Suojaussydämelle sallitut virheiden maksimiarvot. Kirjain P on suojaussydämen tunnus. (ABB 2000, 288.)

Luokka	Nimellisensiövirtaa ja nimellistaakkaa vastaava	
	virtavirhe	kulmavirhe
5P	$\pm 1 \%$	$\pm 60 \text{ min}$
10P	$\pm 3 \%$	

Mittausvirtamuuntajan kyllästyminen tapahtuu silloin kun muuntajan läpi kulkeva ensiövirta on suurempi kuin muuntajan suurin sallittu ensiövirran arvo. Kun ensiövirtaa edelleen kasvatetaan, muuntajan muuntosuhde ensiön ja toision välillä pienenee ja virhe kasvaa. Virtamuuntajien sydämiä on olemassa kahdenlaisia: mittaussydämiä ja suojaussydämiä. Mittaustarkoitukseen käytettävissä virtamuuntajissa rautasydän mitoitetaan niin pieneksi, että rautasydän kyllästyy ensiövirran kasvaessa riittävän suureksi, jolloin toisiovirta ei pääse kasvamaan ja näin ollen virtamuuntaja suojaa toisiopiiriin kytkettyjä mittalaitteita ylivirralla. Suojauskäyttöön tarkoitetun virtamuuntajan pitää pystyä toistamaan hyvinkin suuri ensiöpuolella esiintyvä ylivirta toisiopiirissä, jotta piiriä suojaava rele huomaa vikatilanteen ja suorittaa laukaisun. Tästä syystä suojaussydän mitoitetaan niin suureksi, että se kyllästyy vasta todella suurella ensiövirran arvolla. (ABB 2000, 286–290.) Esimerkiksi tarkkuusluokan 5P15 suojaussydän kyllästyy vasta 15-kertaisella nimellisvirralla.

Virtamuuntajaa valittaessa täytyy tietää muuntajan käyttötarkoitus eli halutaanko mitaus- vai suojauskäyttöön tarkoitettu muuntaja. Käyttötarkoitus määrittelee myös virtamuuntajan tarkkuusluokan; valvontamittauksiin käytettävien muuntajien tarkkuusluokka on 1 tai 3, ylivirtasuojaukseen suositellaan tarkkuusluokkaa 10P ja ylikuormitussuojaukseen tarkkuusluokkaa 5P. Standardi SFS 3381 määrittelee, että energiamittauksessa käytettävien virtamuuntajien tulee olla tarkkuusluokaltaan 0.2 tai 0.5 riippuen vuosittaisesta energian kulutuksesta. Toinen tärkeä seikka virtamuuntajaa valittaessa on muuntajan toisiopiiriin kytkettävä taakka, joka koostuu mittaus- ja suojauslaitteista sekä piirin johtimista. Kojien taakat saadaan selville yleensä laitteiden käyttöohjeista tai datalehdistä ja johtimien aiheuttama taakka voidaan laskea johdinpituuksien ja poikkipintojen avulla. (ABB 2000, 286–290.)

Opinnäytetyön yhteydessä täytyi tarkastaa moottorilähtökeskuksen kokoojakiskotossa olevien virtamuuntajien tyypit ja tekniset tiedot sekä niiden perusteella tutkia, soveltuvatko ne tämän tyyppiseen käyttöön. Kyseessä on kolme keskenään samalaista Circutor-merkkistä virtamuuntajaa, tyypiltään TC6.2. Kuvassa 6 näkyy yhden virtamuuntajan arvokilpi, josta saatiin seuraavat tiedot:

- mitoitusensiövirta 100 A
- mitoitustoisiovirta 5 A
- tarkkuusluokka 0.5, 1 tai 3
- mitoitustaakka 1.75, 3.75 tai 7.5 (tarkkuusluokan mukaan)
- terminen mitoitusvirta $60 \times I_n$
- dynaaminen mitoitusvirta $2,5 \times I_{th}$
- mittarivarmuuskertoimen, F_s 5
- maksimi käyttöjännite 0,72 kV
- lämpöluokka B (130 °C).



KUVA 6. Moottorilähtökeskuksen pääkiskoon asennettu virtamuuntaja (Aleksi Leskinen 2012.)

4.4.2 Mitta-arvon muuntimet ja standardiviestit

Monissa sovelluksissa virtamuuntajan toisiopiirin virta on liian suuri kytkettäväksi suoraan automaatiojärjestelmään tai mittalaitteelle. Tällöin tarvitaan mitta-arvon muunninta. Mitta-arvon muunnin on laite, joka skaalaa sisääntulosuureen pienemmäksi, standardin mukaiseksi arvoksi tai muuntaa sen toiseksi sähköiseksi suureeksi (esim. jännite-virta-muunnos). Muuntimen avulla mitattava suure on tavallisesti virta, jännite tai teho. Mitta-arvon muuntimen ulostulosta saatava signaali on standardiviesti, esim. 4 – 20 mA. (Sikanen 2011.) Standardiviesti voi olla myös tasajännitesignaali sekä pneumaattinen tai kapillaarinen viesti, mutta tasavirtasignaali on teollisuudessa yleisimmin käytetty standardiviestityyppi. (Mäkinen & Kallio 2004, 29–35.)

Analogisesta tasavirtasignaalista käytetään myös nimitystä milliampeeriviesti. Milliampeeriviesti on standardoitu viestityyppi, joka otettiin teollisuudessa yleisesti käyttöön jo 1960-luvulla. Joissakin sovelluksissa käytetään milliampeeriviestin alarajana arvoa 0 mA, mutta tämä ei ole suositeltavaa, koska arvo 0 mA on käytännön sovelluksissa usein epämääräinen. Tästä syystä on otettu käyttöön järjestelmä, jossa signaalin alaraja poikkeaa nolasta, jolloin puhutaan ns. elävästä nolasta. Yleisesti vaikiintuneet milliampeeriviestin raja-arvot ovat 4 ja 20 mA. (Mäkinen & Kallio 2004, 29.)

Tässä työssä käytettyjen mitta-arvon muuntimien lähtösignaali on toteutettu tasajänniteviestinä ja signaalin vaihteluväli 0 – 10 V. Lähtösignaalin pienin arvo on siis 0 V ja suurin arvo 10 V, ja signaali voi saada äärettömän määrän lukuarvoja näiden arvojen väliltä. Kokoojakiskoston pääjännitteen mittaukseen käytetyn muuntimen sisääntuloon on mahdollista kytkeä 0 – 300 V suuruinen jännite, jonka muunnin skaalaa vastaavaksi lähtöjännitteeksi. Koska moottorilähtökeskuksen pääjännite on vain 42 V, suurin mitta-arvon muuntimelta saatava lähtöjännite on käytännössä vain 1,4 V (yhtälö 2).

$$\text{Lähtöjännite } U_{out} = \frac{42 \text{ V} \cdot 10 \text{ V}}{300 \text{ V}} = 1,4 \text{ V} \quad (2)$$

Vaihevirtojen mittaukseen käytettyjen muuntimien sisääntulovirran yläraja määräytyy käytettävien virtamuuntajien toisiopiirin nimellisvirran mukaan. Tässä tapauksessa virtamuuntajien nimellisvirrat ovat 100/5 A ja mitta-arvon muuntimille voidaan kytkeä 0 – 5 A:n suuruinen virta.

Mitta-arvon muunnin tarvitsee yleensä myös ulkoisen käyttöjännitteen, joka on tässä tapauksessa 230 VAC. Mitta-arvon muuntimet sijoitetaan yleensä mitattavan kohteen läheisyyteen, mutta koska moottorilähtökeskuksen syöttökentässä ei ollut juurikaan ylimääräistä tilaa, asennettiin muuntimet erilliseen mittauskoteloon keskuksen viereen. Mittauskotelo näkyy kuvassa 7.



KUVA 7. Mitta-arvon muuntimet asennettiin erilliseen mittauskoteloon (Aleksi Leskinen 2012.)

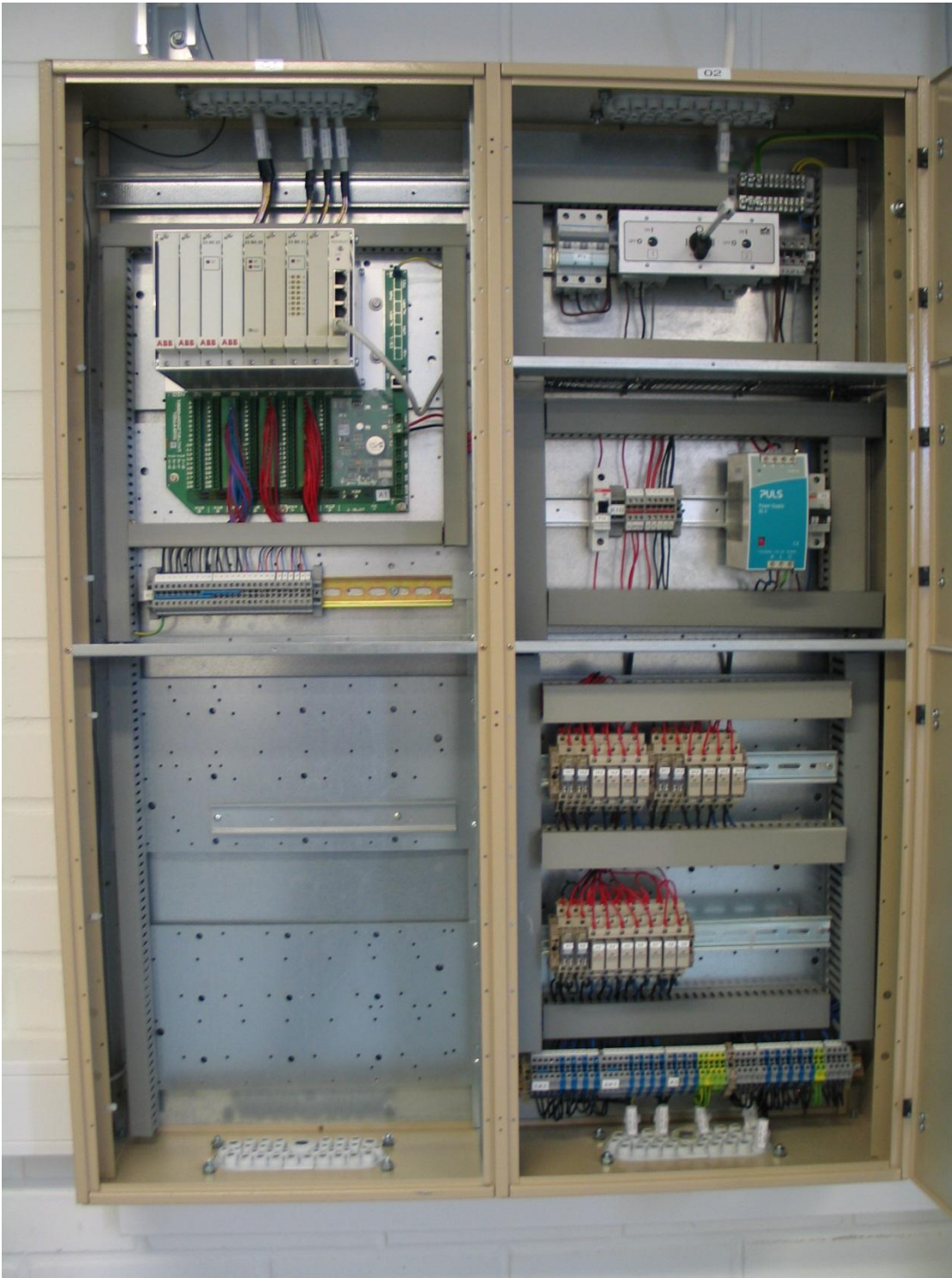
5 OHJAUSKESKUKSEN SUUNNITTELU, ASENNUS JA KALUSTUS

Ensimmäisenä ohjauskeskuksen suunnittelun vaiheena oli miettiä keskukselle sopiva paikka. Koska laboratorihuone on suhteellisen pieni ja siellä voi olla tulevaisuudessa useampia laboratoriotöitä käytössä, kaikkein selvintä on sijoittaa kaikki samaan laboratoriotyöhön liittyvät kojeet, laitteet ja keskuksat mahdollisimman lähelle toisiaan, kuitenkin niin että asennuksesta tulee turvallinen käyttää ja kaikin puolin järkevä. Tällä tavoin myös keskusten välinen kaapelointimatka luonnollisesti lyhenee. Ohjauskeskus sijoitettiin moottorilähtökeskuksen viereen samalle seinälle.

Kun keskuksen sijainti oli selvillä, piti määrittää työssä tarvittavien ohjaus-, mittaus- ja indikointilaitteiden laitetypit ja määrät. Kaikki tässä työssä tarvittavat ohjaus- ja indikointilaitteet ovat välireleitä, joita käytetään jännitetason vaihtamiseen prosessijännitteen (tässä tapauksessa 24 VDC) ja tavallisen verkkojännitteen (230 VAC) välillä. Teollisuudessa on tyypillistä, että ohjaukseen ja indikointeihin liittyvät välireleet sijaitsevat erillisessä keskuksessa tai välirelekaapissa. Tässä sovelluksessa tarvittavia välireleitä oli kuitenkin sen verran vähän, ettei erillistä kaappia kannattanut asentaa, vaan ohjauskeskuksesta varattiin yksi kenno välirelekennoksi.

Välireleiden lisäksi ohjauskeskukseen tarvittiin paikka myös itse logiikalle, joka on yleensä tärkein yksittäinen laite kaikissa logiikalla toteutettavissa ohjaussovelluksissa. Lisäksi logiikka tarvitsee myös erillisen tehonsyöttöyksikön eli Powerin, jolla saadaan muutettua verkkojännite logiikan tarvitsemaksi käyttöjännitteeksi, joka on tässä tapauksessa 24 VDC. Powerin syöttämää tasajännitettä käytetään myös logiikan digitaalisten lähtö- ja tulokorttien prosessijännitteenä. Ohjauskeskuksen kalustusta suunniteltaessa täytyi ottaa huomioon myös tarvittavat sähköiset suojalaitteet sekä niiden tilantarve.

Ohjauskeskuksessa käytetään kahta eri jännitetasoa, normaalia verkkojännitettä (230 VAC) ja prosessijännitettä (24 VDC). Tämä seikka piti ottaa huomioon kojeiden ja johtokourujen sijoittelussa, jotta eri jännitetasojen johtimet eivät pääsisi kosketuksiin toistensa kanssa. Ohjauskeskuksen rakenne ja kalustus on nähtävissä kuvassa 8.



KUVA 8. Ohjauskeskukseen sijoitettiin välireleet, logiikan tehonsyöttöyksikkö sekä RTU560-ala-asemalogiikka. Keskukseen sisäiset johdotukset toteutettiin johtokouruissa, mikä helpotti eri jännitetasojen johtimien asentamista erilleen toisistaan (Aleksi Leskinen 2012.)

6 JOHTOREITTIIEN ASENNUKSET JA KAAPELOINNIT

Työn alkuvaiheessa käytettiin hieman aikaa myös laboratorion huonejärjestyksen ja uusien laitteistojen sijoittamisen suunnitteluun. Tosin tämä suunnittelu oli melko vähäistä ja se koski vain moottorilähtökeskukseen liittyvien laitteistojen eli valvomon, ohjauskeskuksen ja mittauskotelon sijoittamista. Valvomo oli jo kokonaisuudessaan olemassa ennen tämän työn aloittamista, mutta työn alkuvaiheessa todettiin, että valvomon senhetkinen paikka ei ole tilan käytön kannalta järkevä, joten se täytyi siirtää. Valvomopöydän siirron vuoksi valvomotietokoneen sähkönsyöttö täytyi järjestää uudelleen ja verkkoyhteyden hoitava ATK-rasia siirtää. Myös releiden ja SCADAn väliseen tiedonsiirtoon tarkoitettu kuituyhteys piti järjestää uudelleen niin, että se toimisi myös uudessa valvomossa. Työn aikana mietittiin, mikä olisi järkevin tapa toteuttaa kyseiset muutokset siten, että vanhoja kaapeleita tarvitsisi uusia mahdollisimman vähän ja että asennuksesta tulisi helposti muunneltava myös tulevaisuudessa. Näin ollen päädyttiin ratkaisuun, että valvomo siirrettiin moottorilähtökeskuksen ja verkkomallin väliin ja seinälle asennettiin työpöytäkorkeuteen muovinen johtokanava, johon pistorasiat ja ATK-piste asennettiin.

Sovelluksen vaatiman ohjauskeskuksen ja mittauskotelon asentamisen myötä tuli tarve asentaa uusia kaapelireittejä edellä mainitun johtokanavan lisäksi, jotta tarvittavat ohjauskaapeloinnit voitiin toteuttaa. Ohjauskeskus ja mittauskotelo sijoitettiin kuitenkin niin lähelle moottorilähtökeskusta ja olemassa olevia kaapelireittejä, ettei uusia kaapelireittejä tarvinnut paljoa rakentaa. Ainoastaan ohjauskeskuksen yläpuolelle asennettiin pätkä alumiinista kaapelihyllyä ja alapuolelle muovista johtokanavaa. Tämän jälkeen voitiin tehdä tarvittavat ohjaus- ja mittauskaapeloinnit sekä ohjauskeskuksen syöttökaapeli voitiin asentaa. Kuvassa 9 näkyy opinnäytetyössä tehtyjä kaapelointeja sekä kaapelireittejä.

Kuten kohdassa 2.2 mainittiin, oli moottorilähtökeskuksen ohjausjännite ja kiskojännite alun perin haaroitettu verkkomallin SF₆-katkaisijan jälkeisessä haaroituskotelossa. Tuolloin SF₆-katkaisijan avautuminen aiheutti kiskojännitteen katkeamisen lisäksi myös sen, että moottorilähtökeskuksen ohjausjännitekin katkesi ja näin ollen myös kaikki ohjausjännitteellä toimivat suojalaitteet sammuiivat. Näitä suojalaitteita ovat syöttökentässä sijaitsevat releet eli valokaarirele ja ylivirtarele. Työn aikana todettiin, että releiden sammuminen kiskoston vian seurauksena ei vastaa käytännön tilannetta teollisuudessa ja ei ole näin ollen hyväksyttävää myöskään tässä sovelluksessa. Tä-

män seurauksena tehtiin päätös, että ohjausjännitteen syöttöä oli muutettava siten, että ohjausjännite pysyy katkeamattomana kiskostovian aikana.

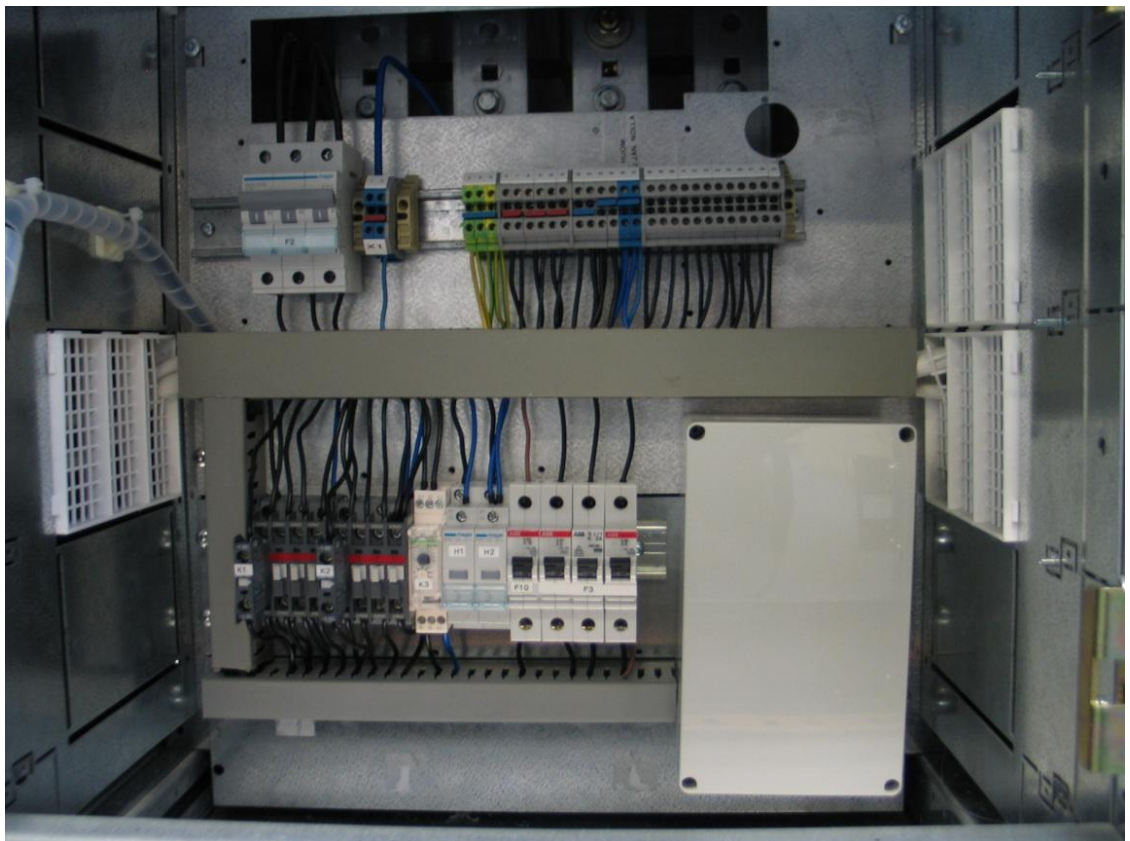
Tehty päätös tarkoitti käytännössä sitä, että ohjausjännitesyöttö oli kaapeloitava uudelleen aina laboratorion pääkeskuksesta JKL01 asti. Uusi ohjausjännitesyöttö oli suhteellisen helppo kaapeloida, koska keskukset sijaitsevat samassa tilassa ja näin ollen ne ovat lähellä toisiaan. Lisäksi laboratorihuoneen lattiaan on rakennusvaiheessa tehty noin puoli metriä syviä ja leveitä kaapelikuiluja, jotka helpottavat juuri tämänlaisia muutostöitä. Uusi ohjausjännitteen syöttökaapeli on tyypiltään MMJ 5x6 S, ja sitä suojaamaan asennettiin 25 A:n johdonsuojakatkaisijat. Ohjausjännite voidaan katkaista pääkeskuksesta laboratoriotöiden pääkytkimellä.



KUVA 9. Opinnäytetyön yhteydessä asennettuja johtoreittejä ja kaapelointia (Aleksi Leskinen 2012.)

7 VALOKAARISIMULAATIO

Työn aloitusvaiheessa päätettiin, että yhtenä osatavoitteena opinnäytetyössä on suunnitella ja toteuttaa valokaarivikaa mallintava kytkentä. Kyseisen simulaatiokytken suunnittelu ja toteutus veikin melko paljon aikaa, koska toimivaan lopputulokseen ei päästy ensimmäisellä yrityksellä, vaan lopullinen kytkentä syntyi useiden prototyyppien ja niiden testausten seurauksena. Eniten päänvaivaa suunnittelussa tuotti tarpeeksi voimakkaan valosignaalin aikaansaaminen keinotekoisesti, sillä valokaari-releen kuitusensorin herkkyys osoittautui luultua heikommaksi. Valokaarisimulaatiokytkenään tarvittavat kojeet asennettiin tyhjiin moottorilähtökennoon, joka nimettiin valokaarisimulaatiokennoksi. Kytkentä näkyy kuvassa 10 ja piirikaavio kytkennästä on tämän raportin liitteenä.



KUVA 10. Valokaarisimulaatioon tarvittavat kytkennät tehtiin moottorilähtökennoon (Aleksi Leskinen 2012.)

7.1 Katkaisijoiden selektiivisyys

Valokaarisimulaatio haluttiin suunnitella sellaiseksi, että sen avulla voitaisiin mallintaa myös katkaisijoiden selektiivistä toimintaa, eli katkaisijoiden tuli toimia niin että syöttöjärjestyksessä lähinnä vikaa oleva katkaisija ohjataan ensin auki ja toinen vasta sen jälkeen, mikäli vika ei häviä. Käytettävässä REA 101 – valokaarireleessä on kaksi nopeaa puolijohteilla toteutettua laukaisulähtöä HSO1 ja HSO2 sekä yksi relelähtö (TRIP3) esimerkiksi indikointiin. Koska laukaisulähtöjen kiinniohjausten välinen aika on erittäin lyhyt (150 ms), täytyi simulointikytkentä suunnitella sellaiseksi että vika poistuu välittömästi katkaisijan avauduttua, jotta muuntajan yläpuolista katkaisijaa ei ohjattaisi turhaan auki. Näin ollen vian kytkentä piti suunnitella siten, että se voitaisiin toteuttaa ilman releitä tai muita sellaisia laitteita, jotka kasvattaisivat vian kytkentäaikaa.

KytKentäajasta saatiin mahdollisimman lyhyt siten, että ylivirtasignaali ja valosignaali syötetään suoraan moottorilähtökeskuksen kiskostosta, joten kun vikapainikkeesta painetaan, sekä ylivirtasignaali että valosignaali aktivoituvat. Kun valokaarirele saa sekä ylivirtasignaalin että valosignaalin, se havahtuu ja suorittaa laukaisun, jolloin katkaisija avautuu ja kiskostosta häviää jännite ja näin ollen myös vika poistuu. Jotta katkaisijoiden selektiivisyyttä voitaisiin testata vikasimulaation yhteydessä, täytyi vikasignaaleja pystyä syöttämään kahdesta paikasta, ennen moottorilähtökeskuksen ilmakatkaisijaa sekä sen jälkeen. Tämä toteutettiin siten, että valokaarisimulaatiokennon kanteen asennettiin kolmiasentoinen (1-0-2) nokkakytkin, jolla vikapaikka valitaan. Valokaarisimulaatiokennon kansi on nähtävissä kuvassa 11. Kun kytkin on asennossa 1, vika tapahtuu ennen ilmakatkaisijaa, jolloin rele antaa laukaisukäskyn ensin ilmakatkaisijalle, mutta koska vika ei häviä, se ohjaa myös muuntajan yläpuolisen SF₆-katkaisijan auki. Asennossa 2 vikapaikka on lähtökentässä eli ilmakatkaisijan jälkeen, jolloin vika poistuu kun ilmakatkaisija avautuu.



KUVA 11. Vikapaikan valintakytkin ja vikapainike keskuksen kannessa (Aleksi Leskinen 2012.)

7.2 Ylivirtasignaali ja virta-asettelut

Valokaarireleen virta-asettelut tehtiin releen etukannessa sijaitsevilla SG1-kytkinryhmän kytkimillä. Kytkimillä valitaan haluttu kerroin nimellisvirralle, joka puolestaan määräytyy siitä, mihin liittämiin virtamuuntajien toisiopiirit on kytketty. Nimellisvirta voi tässä tapauksessa olla joko 1 A tai 5 A. Releen havahtumisvirta-arvo haluttiin asettaa mahdollisimman pieneksi, joten ylivirtajohtimet kytkettiin 1 A:n liittämiin, jolloin nimellisvirraksi tuli 1 A. Lisäksi kytkimillä valittiin pienin mahdollinen kerroin, joka oli 0,5. Näin ollen releen havahtumisvirta-arvo on 0,5 A ($1 \text{ A} \cdot 0,5 = 0,5 \text{ A}$).

Kun releen havahtumiskynnys oli tiedossa, täytyi ylivirtasignaali asettaa sopivaksi virtaa rajoittavien vastusten avulla. Vastusten mitoittamiseen sovellettiin ohmin lakia:

$$U = R * I \quad (3)$$

jossa

U = jännite

R = resistanssi

I = virta.

Sopivan resistanssiarvon lisäksi vastuksilta edellytettiin riittävää tehonkestoä, eli vastus ei saa lämmetä liikaa kun sitä kuormitetaan. Haluttujen vastusten tehonkesto voitiin laskea käyttämällä kaavaa:

$$P = R * I^2 \quad (4)$$

jossa

P = teho

R = resistanssi

I = virta.

Sopivia vastuksia ei tarvinnut hakea kovin kauaa, sillä laboratoriosta löytyi juuri tähän tarkoitukseen sopivat tehovastukset, joiden resistanssi on 47 Ω ja tehonkesto 25 W. Vastusten sopivuus piti kuitenkin tarkistaa laskemalla:

$$I = \frac{U_V}{R} = \frac{\frac{42}{\sqrt{2}}}{47\Omega} = 0,6A \quad (5)$$

$$P = R * I^2 = 47\Omega * 0,6A^2 = 16,9W \quad (6)$$

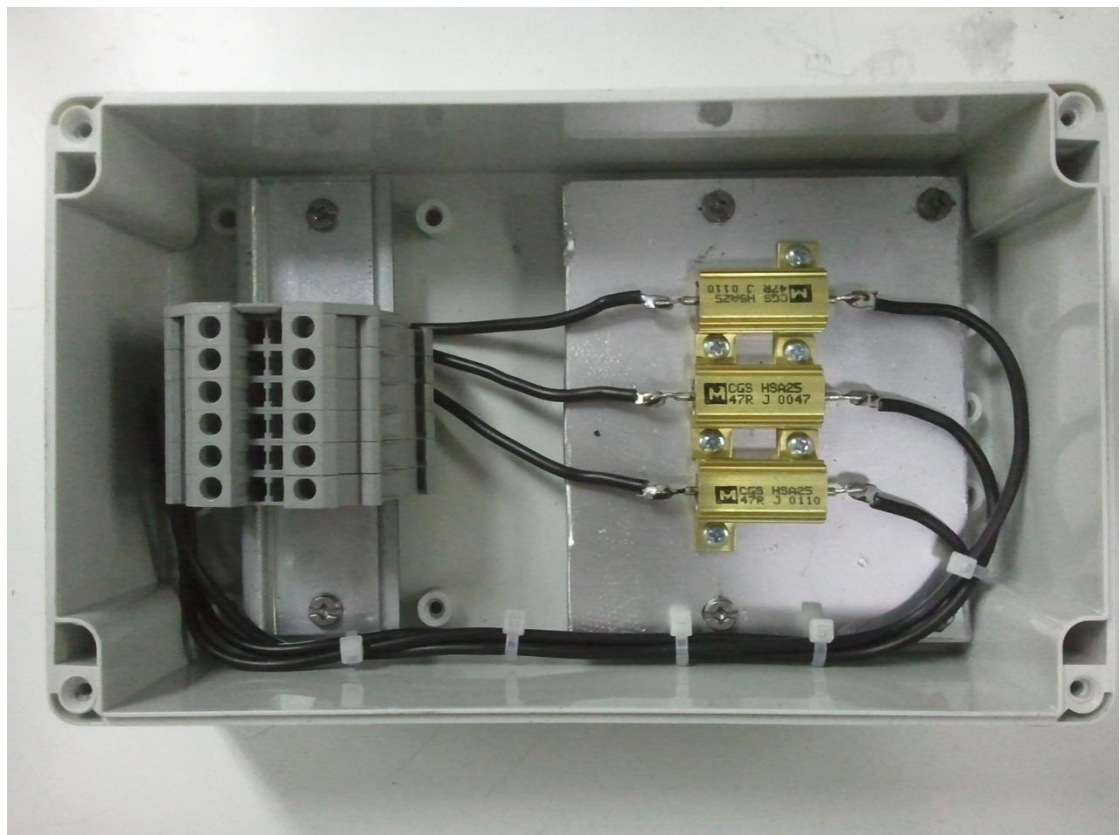
U = kiskoston pääjännite

U_V = kiskoston vaihejännite.

Vaikka vastusten tehonkesto on riittävä, niitä testattaessa huomattiin, että vastukset lämpenevät huomattavasti, kun niitä kuormitetaan 0,6 A:n virralla. Kyseisen vastustyyppin datalehddestä löytyi taulukko, josta ilmeni, että mikäli vastusta käytetään ilman

minkäänlaista lämpönielua, sen tehonkesto puolittuu. Näin ollen vastusten tehonkesto onkin todellisuudessa vain 12,5 W. Tämä seikka päätettiin kuitenkin jättää huomiotta, sillä vastusten kuormitus aika vikasimulaatiossa on todella pieni (maks. 150 ms + SF₆-katkaisijan avautumisaika) verrattuna niiden kuormitusaikaan testausvaiheessa (yli 10 s). Toisin sanoen vastukset eivät ehdi lämmetä tuossa ajassa juuri lainkaan.

Lyhyestä kuormitusajasta huolimatta vastusten lämpövaikutuksia ehkäisemään päätettiin tehdä kaksi varotoimenpidettä. Ensinnäkin vastukset asennettiin 5 mm paksulle alumiinilevyille, joka toimii lämpönieluna ja tasoittaa sitä vähäistä lämpöä, joka vastuksissa ehtii syntyä. Vastukset lämpönieluihin sijoitettiin erilliseen kytkentäkoteloon (kuva 12), jolloin ne eivät pääse kosketuksiin esimerkiksi johtimien kanssa. Lisäksi vikasimulaation ohjauspiiriin kytkettiin hipaisutoiminnolla varustettu rele, joka estää vastusten kuormittamisen yhtä sekuntia pidempään. Tämä toiminto on tarpeellinen silloin, jos katkaisija tai rele ei jostain syystä pysty katkaisemaan vikaa.



KUVA 12. Ylivirtasignaalin rajoittamiseen käytetyt vastukset asennettiin vastuskoteloon, joka sijoitettiin valokaarikennoon (Aleksi Leskinen 2012.)

7.3 Valosignaali

Valokaarireleen kuitusensorina voidaan käyttää rakenteeltaan erilaisia sensorityyppejä, joita ovat silmukkasensori, säteittäinen sensori ja linssisensori. Silmukkasensoria käytettäessä sensorikuidun molemmat päät on kytketty releeseen, mikä mahdollistaa sen, että rele pystyy valvomaan sensorikuitua itsenäisesti ja näin ollen huomaa, mikäli kuitu katkeaa tai vaurioituu. Tämä seikka oli perusteena silmukkasensorin valinnalle tässä sovelluksessa, ja aluksi kuitusensori toteutettiin silmukkatyyppisenä. Myöhemmin sensorikuitu jouduttiin kuitenkin vaihtamaan säteittäiseksi, koska testatuilla kytkennöillä ei saatu aikaan tarpeeksi voimakasta valoa, jotta se olisi läpäissyt sensorikuidun vaipan ja aiheuttanut releen havahtumisen. Silmukkatyyppinen kuitu saatiin reagoimaan vain kameran salamalaitteen tuottamaan valoon.

Yhtä voimakkaan valon aikaansaaminen valaisimilla olisi todennäköisesti ollut teknisesti hankalaa ja taloudellisesti kohtuutonta, joten silmukkatyyppisen kuitusensorin etuna saatavasta sensorikuidun valvontamahdollisuudesta päätettiin luopua ja vaihtaa sensorikuitu säteittäiseksi. Valosignaalin toteuttaminen helpottui sensorimuutoksen myötä merkittävästi, koska kuitusensori tunnistaa vähäisenkin valon, joka kohdistetaan kuidun päähän. Valosignaali toteutettiin yhdellä ultrakirkkaalla LEDillä, joka on kohdistettu suoraan sensorikuidun liitintä vasten. LED syttyy, kun vikakennossa sijaitsevaa Tee vika -painiketta painetaan. Sekä LED että kuidun liitin sijoitettiin pieneen koteloon, jotta kuidun päähän ei kohdistuisi muuta valoa kuin valokaarivian valosignaali. Kotelo sijoitettiin valokaarireleen kytkentätilaan kannen alle.

8 AUTOMAATIOLIITYNTÄ

8.1 Käytönvalvontajärjestelmä

Sähkönjakelun luotettavuuden ja taloudellisen tehostamisen tarve on ohjannut sähköyhtiöt lisäämään automaation käyttöä sähköverkoissa. Erilaiset automaatiojärjestelmät helpottavat sähkönjakeluverkkojen käyttöä ja hallintaa. Yhtenä merkittävimmistä sähkönjakelun automaation kehitysvaiheista Suomessa oli kaukokäyttöjärjestelmien yleistyminen 1970-luvulla. Viime vuosina tietotekniikka on kehittynyt niin voimakkaasti, että se on mahdollistanut myös kaukokäyttöjärjestelmien kehittymisen suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Näitä kokonaisuuksia kutsutaan käytönvalvontajärjestelmiksi. (Rouvali 2011.)

Käytönvalvontajärjestelmä mahdollistaa sähköverkkojen valvonnan ja ohjauksen valvomosta käsin kaukokäyttönä. Käytönvalvontajärjestelmässä on useita perustoimintoja, joita ovat mm. tietojen haku prosessista, niiden näyttäminen valvomossa sekä tietojen tallentaminen ja erilaisten ohjaustoimintojen suorittaminen. Järjestelmä pitää yllä valvottavan verkon tietokantaa, johon on tallennettu tiedot verkon rakenteesta sekä erilaiset mittaus- ja tilatiedot. Käytönvalvontajärjestelmän perusosat ovat valvomossa sijaitseva keskusasema, sähköasemilla sijaitsevat ala-asemat sekä näiden väliset viestiyhteydet. (Rouvali 2011.) Yhtenä esimerkkinä käytönvalvontajärjestelmästä on laboratorion valvomossakin käytetty ABB:n MicroSCADA, jota tässä työssä sovellettiin teollisuusautomaatiokäyttöön.

8.2 RTU560-ala-asemalogiikka

Ohjelmoitava logiikka eli PLC (Programmable Logic Controller) on mikroprosessorilla varustettu tietokone, jota käytetään reaaliaikaisten automaatioprosessien ohjaukseen. Ohjelmoitavassa logiikassa on tulo- ja lähtökanavia, joihin kenttälaitteet, kuten anturit, kytketään. Kenttälaitteet välittävät logiikalle tietoa prosessista tulokanavien kautta, jolloin logiikka lukee tiedon ja käsittelee sen asetellun ohjelman mukaisesti. Tämän jälkeen logiikka ohjaa lähtökanaviin kytkettyjä toimilaitteita, mikäli siihen on mittaustiedon perusteella tarvetta. (Keinänen & Kärkkäinen 2007, 223.)

Tässä työssä käytetty ohjelmoitava logiikka on ABB:n RTU560-ala-asemalogiikka, joka on tarkoitettu sähköasemakäyttöön, mutta sitä voidaan käyttää myös tämän tyyppisessä teollisuussovelluksessa. Logiikassa on yhdeksän slottia eli korttipaikkaa, joista yksi on varattu kommunikointikortille ja kahdeksan erilaisille I/O-moduleille. Logiikassa on paikallaan neljä korttia; kommunikointikortti, analoginen tulokortti sekä digitaaliset lähtö- ja tulokortit. Kullekin I/O-modulille on varattu 16 kanavaa, joihin tulo- ja lähtösignaalit kytketään. (ABB 2011e.) RTU näkyy kuvassa 13.



KUVA 13: RTU560-ala-asemalogiikka, kortit järjestyksessä vasemmalta oikealle: analoginen tulokortti 23AE23, digitaalinen lähtökortti 23BA20, digitaalinen tulokortti 23BE21 ja kommunikointikortti 560CMU02 (Aleksi Leskinen 2012.)

Kommunikointikortin pääasiallisia tehtäviä ovat mm. kommunikointi SCADA-koneen ja tarvittaessa muiden RTU-yksiköiden kanssa sekä I/O-korttien ohjaus ja synkronointi. Kortin etupaneelissa on neljä tiedonsiirtoporttia, kaksi Ethernet-porttia ja kaksi USART-sarjaliikenneporttia. Laboratorion valvomokone kytkettiin RTUhun käyttämällä Ethernet-yhteyttä. Lisäksi kortissa on häiriömerkkivalo, jolla laite hälyttää erilaisista häiriötilanteista. (ABB 2011d.)

Digitaalisessa tulokortissa on 16 eristettyä tulokanavaa binäärimuotoisille prosessisignaaleille. Kortti voi käsitellä seuraavantyyppisiä signaaleja: 16 yksikanavaista tai 8 kaksikanavaista tilatietoa, kahta 8 bittistä binäärilukua tai yhtä 16 bittistä binäärilukua sekä 16:ta pulssityyppistä signaalia. Kanavat on jaettu kahteen kahdeksan kanavan ryhmään, joilla kummallakin on yhteiset paluuliittimet. Tulosignaaleiden jännite voi olla 24 - 60 VDC. Jokaiselle kanavalle on kortin etupaneelissa led, joka seuraa koko ajan tulosignaalin todellista arvoa. (ABB 2011b.)

Digitaalisessa lähtökortissa on 16 ohjattavaa relelähtöä, joilla voidaan tuottaa binäärityyppinen signaali. Kuten tulokortissakin, myös digitaalisessa lähtökortissa kanavat on jaettu kahteen 8 kanavan ryhmään, ja molemmilla ryhmillä on yhteiset paluuliittimet. Paluuliittimeen kytketään ulkoinen prosessijännite, joka voi olla 24 ja 60 VDC:n välillä. (ABB 2011c.)

Analogisessa tulokortissa on 16 kanavaa, joilla voidaan mitata kahdeksaa analogista mittaussignaalia. Tulosignaalin tyyppi ja raja-arvot voidaan valita yleisimmistä vaihtoehtoista, joita ovat: ± 2 mA, ± 5 mA, ± 10 mA, ± 20 mA, ± 40 mA, ± 2 VDC ja 0 ... 20 VDC. (ABB 2011a.)

8.3 Logiikan konfigurointi

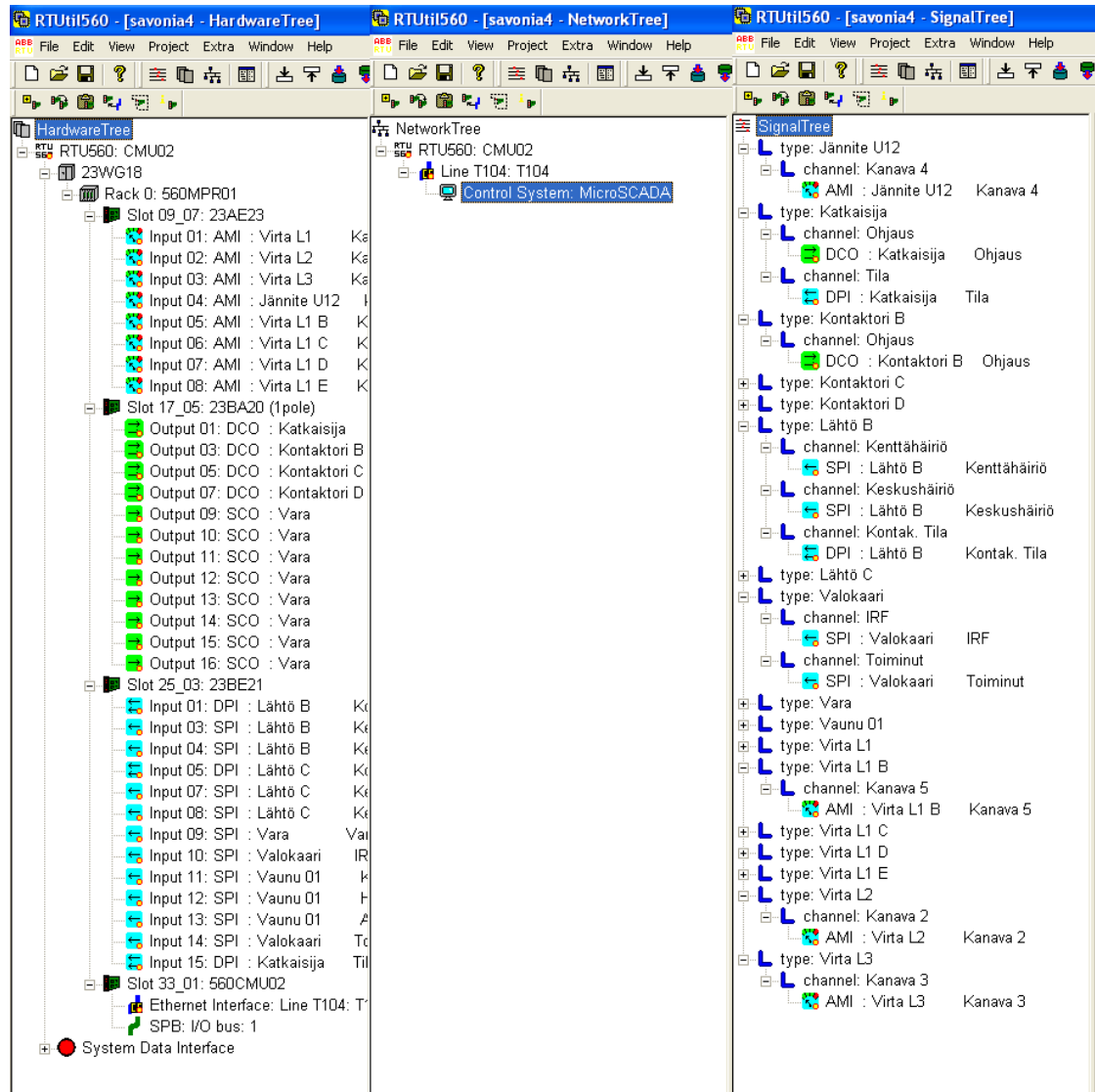
Ensimmäisenä vaiheena automaatioliitynnän tekemisessä oli RTU:n eli työssä käytetyn logiikkakehikon konfigurointi, joka oli ajallisesti pienempi kokonaisuus kuin SCADAn konfigurointi, mutta joka kuitenkin piti tehdä ensimmäisenä. ABB on kehittänyt RTUtil560-nimisen ohjelman, joka on tarkoitettu juuri tämäntyyppisen 560MPR01-kehikon konfigurointiin. Logiikan konfigurointi tapahtui pääosin kyseistä ohjelmaa käyttäen, mutta lisäksi joitakin määrittelyjä piti tehdä xls-tiedostossa, johon tarvittiin Microsoft Exceliä. Lopuksi määrittelyt täytyi ladata itse logiikkaan internetselaimella.

8.3.1 Uuden projektin perustaminen ja projektimäärittelyt

Konfigurointi alkaa uuden projektin perustamisella, jonka yhteydessä ohjelma luo pattern-tyyppisen projektitiedoston, johon tarvittavat projektimäärittelyt tehdään. Tätä työvaihetta helpotti merkittävästi se, että kyseinen tiedosto saatiin suoraan ABB:ltä ja siihen oli tarvittavat määrittelytkin tehty valmiiksi. Näin ollen projektimäärittelyjen te-

kemiseen ei tarvinnut käyttää juurikaan aikaa, mutta pattern-tiedoston sisältämiin määrittelyihin piti kuitenkin perehtyä, jotta saisi paremman käsityksen projektin toiminnasta ohjelmallisesti. Projektimäärittelyt tehdään kolmella erilaisella puukaaviolla (Tree), joilla kuvataan käytettävät laitteet, signaalit ja verkkotopologia. Tarvittavia puukaavioita ovat laitekaavio (Hardware Tree), signaalikaavio (Signal Tree) ja verkkokaavio (Network Tree).

Laitekaaviota käytetään kuvaamaan jokaisen käytettävän RTU:n eli logiikkakehikon sisäinen rakenne sekä fyysisesti että signaalitasolla. Laitekaavio on hierarkkinen kuvaus RTU:sta. Tarvittavat IO- ja kommunikointikortit sekä konfigurointiin tarvittava data esitetään laitekaaviossa. Verkkokaavion avulla rakennetaan sovelluksen verkkotopologia kokonaisuudessaan ja sillä hallitaan kytkentädataa, protokollaparametreja sekä erilaisia suodintoimintoja. Verkkokaaviossa ei esitetä logiikan sisäistä verkkoa, vaan se antaa yleiskatsauksen sähköaseman tai muun toteutettavan sovelluksen verkkotopologiasta. Logiikan sisäinen verkko kuvataan laitekaaviossa. Signaalikaavion rakentamisella varmistetaan, että jokainen prosessin datapiste on yksilöity eli jokaisella niistä on yksilöllinen OI-osoite. Signaalikaavion rakenne on riippuvainen projektista, joten sitä ei näin ollen voi yleistää. Signaalikaavio antaa yleiskatsauksen projektissa tarvittavasta IO-datasta ja sen määrästä.



KUVA 14. RTUtil560: laitekaavio, verkkokaavio ja signaalikaavio (Aleksi Leskinen 2012.)

8.3.2 IO-määrittelyt ja Excel Import

Kun uusi projekti saatiin perustettua ja tarvittavat projektimäärittelyt tehtyä, täytyi seuraavaksi määrittellä IO-korttien kanavat sekä niiden toiminta. Määrittely tehtiin Excel-tiedoston avulla. Myös tässä vaiheessa ABB:n apu oli huomattava, sillä kyseistä tiedostoa ei tarvinnut tehdä alusta alkaen, vaan ABB:ltä saatiin valmis määrittelytiedosto, joka soveltui suoraan tähän prosessiin. Tosin määrittelyjä piti myöhemmin muokata useaan otteeseen, koska kaikki prosessin yksityiskohdat eivät olleet vielä tässä vaiheessa selvillä.

Excelillä määritellään mm. käytettävät IO-kortit sekä niiden kanavat ja asetellaan kanavien tarvittavat parametrit halutuiksi. Jokaiselle kanavalle on varattu Excel-tiedostosta yksi vaakasuuntainen rivi, kun taas pystysuuntaiset sarakkeet ovat muunneltavia parametreja. Aluksi kanavalle määritellään signaalin tyyppi; onko kyseessä mitta- tai ohjaussignaali vai jokin muu signaalityyppi. Lisäksi signaalityyppi määrittelee signaalin napaisuuden. Tämän jälkeen kanavalle voidaan antaa lyhyt sanallinen kuvaus, jotta myöhemmissä vaiheissa saadaan helposti selville, mistä signaalista on kysymys. Kanavalle täytyy määritellä myös osoite, josta selviää kanavan fyysinen sijainti. Osoite koostuu neljästä osasta, joilla määritellään, mikä RTU on kyseessä, missä kortissa kanava sijaitsee ja mitkä kortin liittimet on varattu kyseiselle kanavalle.

Seuraavaksi määritellään kanavan signaalityyppiä vastaavat parametrit. Esimerkiksi mittaussignaalin ollessa kyseessä kanavan tulosignaalin tyyppi eli käytettävä standardiviesti täytyy valita. Koska valittavissa ovat kaikki yleisimmät standardiviestityypit, tämä parametri määräytyy prosessissa käytettävien mitta-arvonmuuntimien perusteella. Myös tulosignaalin napaisuus valitaan tässä vaiheessa. Mittauskanavalle voidaan määritellä erilaisia signaalin käsittelyyn liittyviä parametreja, kuten näytteenottoaajuus. Lisäksi kanaville täytyy määritellä IEC 60870-5-104 -standardin mukainen osoite. Lopuksi xls-tiedosto liitetään projektiin RTUtil560:n Excel Import -toiminnolla.

BT23													
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2	Signal type	System data type (SEV, SSC)	Type variant (AMI and EPI)	RTU1560 Import	Station	Subnet	Bay	SCADA object					
3	Signal				Process Object Identification								
4	5 ASCII	4 ASCII	ASCII	Y / N	8 ASCII	8 ASCII	8 ASCII	8 ASCII					
5	STTY	STDT	STTV	STIM	OI01	OI02	OI03	OI04	OI05	OI06	OI07	OI08	
6	AMI			Y	Virta L1	Kanava 1							
7	AMI			Y	Virta L2	Kanava 2							
8	AMI			Y	Virta L3	Kanava 3							
9	AMI			Y	Jännite U12	Kanava 4							
10	AMI			Y	Virta L1 B	Kanava 5							
11	AMI			Y	Virta L1 C	Kanava 6							
12	AMI			Y	Virta L1 D	Kanava 7							
13	AMI			Y	Virta L1 E	Kanava 8							
14	DPI			Y	Katkaisija	Tila							
15	DPI			Y	Lähtö B	Kontak. Tila							
16	DPI			Y	Lähtö C	Kontak. Tila							
17	SPI			Y	Lähtö B	Kenttähäiriö							
18	SPI			Y	Lähtö B	Keskushäiriö							
19	SPI			Y	Lähtö C	Kenttähäiriö							
20	SPI			Y	Lähtö C	Keskushäiriö							
21	SPI			Y	Valokaari	Toiminut							
22	SPI			Y	Valokaari	RF							
23	SPI			Y	Vaunu 01	Klinni							
24	SPI			Y	Vaunu 01	Huolto							
25	SPI			Y	Vaunu 01	Auki							
26	SPI			Y	Vara	Vara							
27	DCO			Y	Katkaisija	Ohjaus							
28	DCO			Y	Kontaktori B	Ohjaus							
29	DCO			Y	Kontaktori C	Ohjaus							
30	DCO			Y	Kontaktori D	Ohjaus							
31	SCO			Y	Vara	Päälle							
32	SCO			Y	Vara	Pois							
33	SCO			Y	Vara	Kuittaus							
34	SCO			Y	Vara	12							
35	SCO			Y	Vara	13							
36	SCO			Y	Vara	14							
37	SCO			Y	Vara	15							
38	SCO			Y	Vara	16							
39	SEV	#016		Y									
40	SEV	#017		Y									
41	SEV	#018		Y									
42	SEV	#019		Y									
43	SEV	#020		Y									

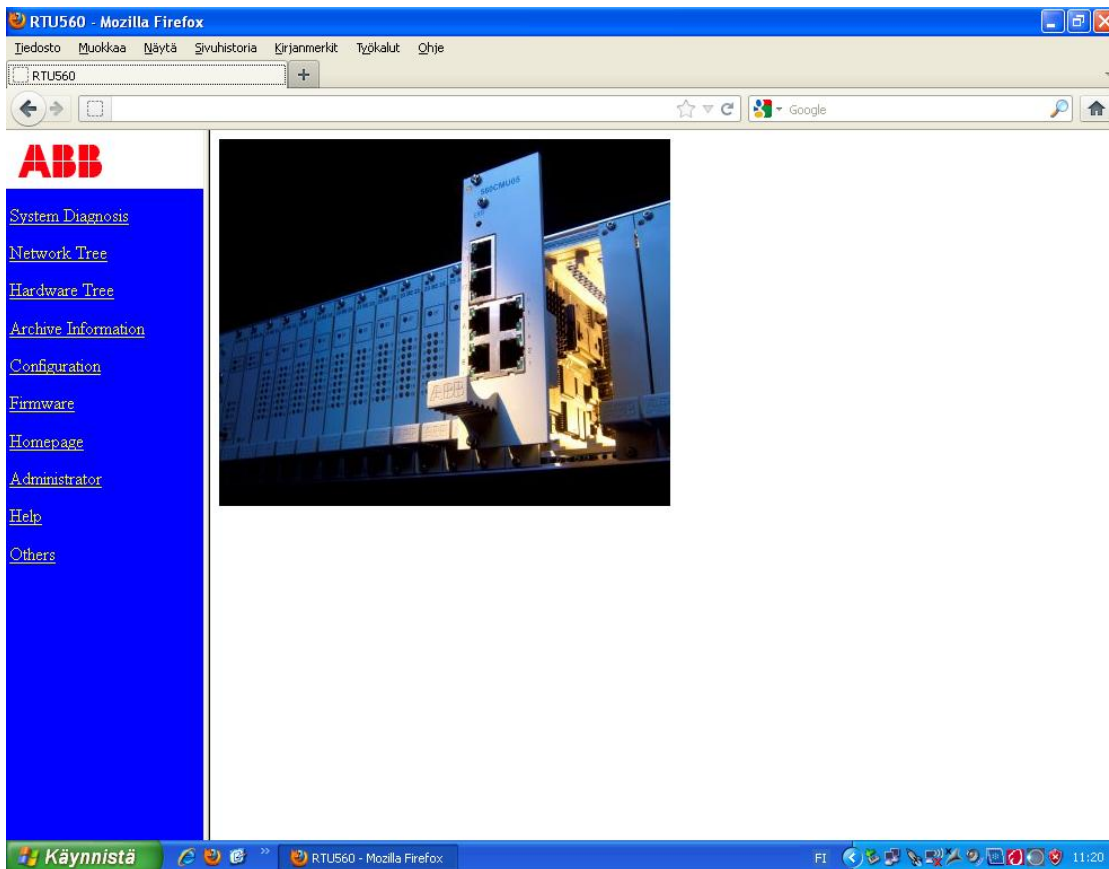
KUVA 15. Prosessissa tarvittujen signaalien tyypit ja kuvaukset xls-tiedostossa (Aleksi Leskinen 2012.)

8.3.3 RTU-tiedostot ja niiden käsittely

Kanavien määrittelyjen ja projektiin liittämisen jälkeen täytyi luoda tarvittavat RTU-tiedostot, joita käytettiin logiikkakehikon ohjelmoimiseen. RTU-tiedostojen luonti tapahtui toiminnolla Create RTU Files, jolloin ohjelma loi kolme tarvittavaa ohjelmointi-

tiedostoa ja tallensi ne omaan kansioonsa. Tämän jälkeen logiikkakehikko täytyi ohjelmoida eli luodut RTU-tiedostot piti ladata logiikkaan. RTU:n sisäistä laitteistoa voi tarkastella kommunikointikortin välityksellä syöttämällä selaimen osoiteriville logiikan IP-osoitteen, jolloin selaimeen avautuu RTU:n aloitussivu (kuva 16). Ennen kuin mitään toimenpiteitä tai tarkasteluja voi tehdä, täytyy laitteeseen kirjautua sisään.

Tarvittavat käyttöoikeudet määräytyvät sen perusteella, mitä toimintoja halutaan tehdä. Toimenpiteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: tarkasteluun, konfigurointiin sekä pääkäyttäjän oikeuksia vaativiin toimenpiteisiin, kuten digitaalisten lähtöjen ohjaaminen. Kullekin toiminnolle on oma käyttäjätunnus ja salasana, joilla pitää kirjautua sisään. Tässä vaiheessa sisään kirjautuminen tapahtui konfigurointitunnuksilla, minkä jälkeen laite antoi luvan suorittaa RTU-tiedostojen lataamisen Configuration-välilehdellä. Ohjelmointitiedostojen lataamisen jälkeen RTU täytyi käynnistää uudelleen, jotta uudet asetukset tulivat voimaan.



KUVA 16. RTU:n aloitusnäkömä selaimessa (Aleksi Leskinen 2012.)

8.4 SCADAn konfigurointi

Toimivan automaatioliittymän aikaansaaminen edellytti RTU:n konfiguroinnin lisäksi MicroSCADA -järjestelmän konfigurointia, joka tapahtui pääosin Monitor Pro -sovelluksella. Monitor Pro on ohjelma, jolla SCADA -järjestelmää käytetään, ja sillä voidaan tehdä kaikki tarvittavat toiminnot konfiguroinnista aina prosessin monitorointiin ja valvontaan saakka.

Ensimmäisenä vaiheena SCADAn konfiguroinnissa oli uuden laitteen eli RTUn lisääminen SCADA -järjestelmään. Tämä tapahtui luomalla järjestelmään uusi asema, joka täytyy luoda jokaiselle käytettävälle RTU:lle. Uuden aseman käyttämäksi tiedonsiirtoprotokollaksi määritettiin IEC 60870-5-104, eli RTU kytkettiin LAN-kaapelilla valvomokoneeseen.

Seuraavaksi ohjelmaan täytyi lisätä muut prosessin fyysiset laitteet eli katkaisija ja sen vaunu sekä moottorilähtöjen kontaktorit. Kullekin laitteelle valittiin valmis symboli kirjastosta, ja samalla ohjelma loi tarvittavat signaalit, joihin logiikan kanavat yhdistettiin. Kunkin signaalin pystyi tunnistamaan niiden OI-osoitteen perusteella, jotka oli määritetty aiemmin. Tässä vaiheessa esim. logiikan analogiselle tulokortille kytkettyjen mittaussignaalien todellista arvoa olisi pystynyt seuraamaan, mikäli kanaviin olisi syöttänyt 0 – 10 V tasajännitteen.

Viimeisenä vaiheena SCADAn konfiguroinnissa oli varsinaisen valvomokuvan piirto. Valvomokuva näkyy Monitor Prossa normaalin käyttötilanteen aikana, ja sen avulla voidaan tarkastella prosessista saatavia mittaustietoja, tilatietoja ja hälytyksiä sekä suorittaa laitteiden ohjauksia. Valvomokuvan piirto tapahtui lisäämällä kuvaan katkaisijan ja kontaktoreiden symbolit sekä pääjännitteen ja vaihevirtojen mittarit. Myös hälytyksille täytyi luoda niitä kuvaavat symbolit.

9 MOOTTORILÄHTÖKESKUKSEN KÄYTTÖ

9.1 REF 543-kennoterminalin asetteluryhmän vaihtaminen

Sähkölaitostekniikan laboratoriossa sijaitsevia verkkomallia ja moottorilähtökeskusta syötetään saman SF6-katkaisijan kautta, jota ohjaa katkaisijan yhteyteen sijoitettu ABB:n REF-typin kennoterminali. Lisäksi molemmille laitteistoille on määriteltä omat aika- ja virta-asettelut, koska verkkomallin asetteluarvot eivät sellaisenaan sovellu moottorilähtökeskuksen käyttöön. Tästä syystä molempia laitteistoja ei voi käyttää samaan aikaan. Laitteistokohtaiset asetteluarvot on tallennettu kahteen eri asetteluryhmään. Asetteluryhmien käyttö nopeuttaa kennoterminalin asetteluarvojen vaihtamista, koska kaikkia parametreja ei tarvitse vaihtaa, vaan riittää kun aktivoidaan haluttu asetteluryhmä. Tämä osio antaa ohjeistuksen asetteluryhmän vaihtamiseen.

Kennoterminalin valikoissa navigointiin käytetään laitteen etupaneelissa sijaitsevia nuolinäppäimiä ja E- ja C-näppäimiä. Alavalikoita pääsee selaamaan kun painaa oikealle osoittavaa nuolinäppäintä halutun valikon kohdalla. Laitteeseen on määriteltä kolme eritasoista salasanaa, jotka syöttämällä laite antaa oikeuden tehdä erilaisia parametrimuutoksia sekä asetteluja. Tässä ohjeessa salasanoista käytetään nimityksiä salasana1, salasana2 ja salasana3. Asetteluryhmän vaihtaminen tapahtuu seuraavissa vaiheissa:

1. Laitteeseen kirjautuminen tapahtuu painamalla E-näppäintä pohjassa, kunnes laite kysyy salasanaa. Tässä vaiheessa salasanaaksi syötetään salasana3. Salasanan hyväksyminen ja varsinainen sisään kirjautuminen tapahtuu painamalla uudestaan E-näppäintä. Päävalikko avautuu.
2. Päävalikosta valitaan alavalikko Suojaus.
3. Suojausvalikossa siirrytään kohtaan NOC3High.
4. Tämän jälkeen navigoidaan kohtaan Ohjausasettelu, jossa asetteluryhmän vaihto voidaan tehdä. Käytössä oleva asetteluryhmä näkyy kohdassa Aktiivinen ryhmä. Seuraavaksi siirrytään kohtaan asetteluryhmän valinta, ja painetaan jälleen E-näppäintä pohjassa, kunnes laite pyytää salasanaa. Tässä vaiheessa syötetään salasana2, ja hyväksytään valinta painamalla E-näppäintä.

Haluttu asetteluryhmä voidaan nyt valita taulukon 9.1 mukaisista vaihtoehtoista, eli moottorilähtökeskuksen tai verkkomallin väliltä.

TAULUKKO 5. REF 543 -kennoterminalin asetteluryhmät

Asetteluryhmä	Aika-asettelu	Virta-asettelu
1 (Moottorilähtökeskus)	2,05 s	$2,5 \times I_N$
2 (Verkkomalli)	0,05 s	$0,1 \times I_N$

5. Lopuksi peruutetaan takaisin päävalikkoon ja kirjaututaan ulos painamalla E-näppäintä pohjassa, kunnes päävalikko katoaa.

9.2 Valokaarireleen asettelut ja käyttö

Moottorilähtökeskuksessa sijaitsevan REA 101 -valokaarireleen etupaneeli on nähtävissä kuvassa 9. Releen asettelut tehdään etupaneeliin sijoitetuilla kytkimillä, jotka on jaettu kolmeen kytkinryhmään; SG1, SG2 ja SG3. Kytke ryhmän SG1 kytkimillä määritellään laukaisuvirran arvo, valitaan taustavalon kompensointitapa sekä se, ovatko laajennusyksiköille tarkoitetut tiedonsiirtoportit käytössä. Kytke ryhmän SG2 kytkimillä tehdään vain laajennusyksiköiden ja keskusyksikön väliseen tiedonsiirtoon liittyviä asetteluja, joten ne eivät ole tässä tapauksessa käytössä. Kytke ryhmän SG3 kytkimiä tarvitaan silloin kun relettä käytetään katkaisijavikasuojaukseen, eli juuri tässä tapauksessa.

Kytke ryhmällä SG3 voidaan määritellä mm. laukaisulähdön HSO2 toiminta ajallisesti. HSO2 voi toimia samaan aikaan HSO1:n kanssa tai viivästetysti. Laukaisulähtöjen välinen viivästys on tällä hetkellä 150 ms, mutta se voidaan asettaa myös 100 ms:iin, mikäli tarpeellista. Samalla viiveellä toimii myös relelähtö TRIP3. Kytke ryhmän SG3 kytkimellä 4 valitaan, onko sensorikuidun valvonta käytössä vai ei. Sensorikuidun valvontaa voidaan käyttää vain sensorikuidun ollessa silmukkatyyppinen, joten valvonta ei ole tässä tapauksessa käytössä.

Valokaarirele tarvitsee laukaisuun aina vähintään sensorin havaitseman valosignaalin. Normaaliikäytössä rele tarvitsee laukaisuun sekä valosignaalin että ylivirtasignaalin. Releen etupaneelissa sijaitsevalla Trip Condition -avainkytkimellä voidaan kuitenkin valita onko ylivirtaeho käytössä vai ei. Kytkeimen ollessa Light-asennossa rele tarvitsee laukaisuun pelkästään valosignaalin. Tätä asentoa käytetään mm. releen

toimintaa testattaessa, jolloin valosignaali tehdään keinotekoisesti esim. kameran salamalaitteella.

9.3 Valokaarisimulaation käyttö

Ennen valokaarisimulaation käyttöä täytyy varmistaa, että tarvittavat kytkinlaitteet ovat kiinni-asennossa ja että releiden ja katkaisijoiden ohjausjännite on kytketty päälle. Valokaarisimulaatiokytkentään kuuluvat kojeet näkyvät liitteenä olevassa piirikaaviossa. Laboratoriotöiden sähkönsyöttöön kuuluvat kytkimet näkyvät liitteenä olevassa pääkaaviossa ja niiden kytkeminen tapahtuu vaiheittain:

1. Varmista että vaihtokytkin 1 on asennossa 2 ja verkkomallin pääkytkimet ovat asennossa 0 (AUKI). (Verkkomalli on erotettu verkosta.)
2. Käänä vaihtokytkin 2 asentoon 2 (MLK) ja varmista, että taulukossa 6 luetellut suojalaitteet ovat Kiinni-asennossa.

TAULUKKO 6. Valokaarisimulaatioon vaikuttavat suojalaitteet

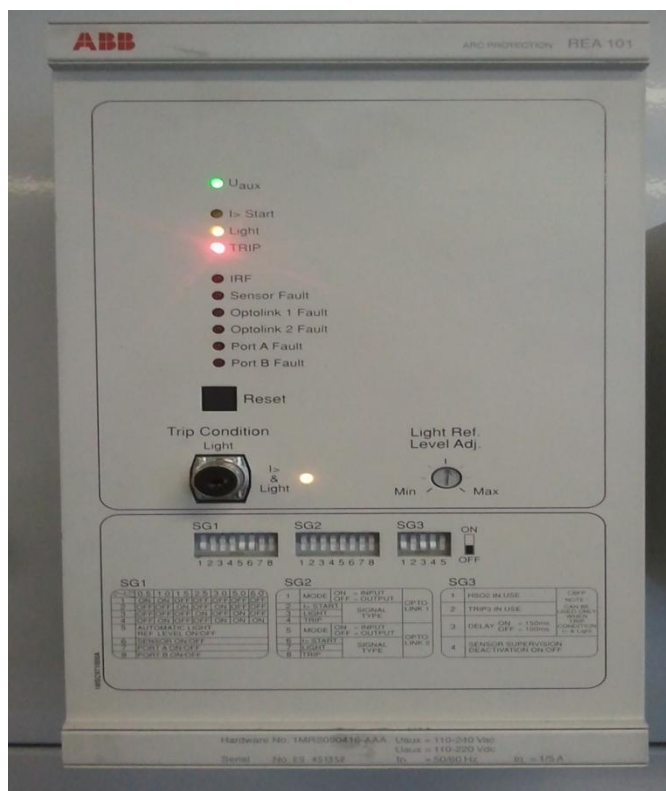
Suojalaite		Sijainti (keskus, kenttä, kenno)
Tunnus	Tyyppi	
F2	Johdonsuojakatkaisija C25	JKL01 kenno vasen yläkulma
F1	Kytkinvaroke 3x16 A	MLK 03
F1	Kytkinvaroke 3x10 A	MLK 01 A
F10	Johdonsuojakatkaisija C10	MLK 01 A
F2	Johdonsuojakatkaisija C10	MLK 02 G
F10	Johdonsuojakatkaisija C10	MLK 02 G
F3	Johdonsuojakatkaisija C2	MLK 02 G

3. Varmista, että katkaisijat ovat kiinni -asennossa.
4. Lopuksi kytke laitteistoon jännite laboratoriotöiden pääkytkimellä.

Kun jännitteet on kytketty, REF543 -kennotermiinalin asetteluryhmä vaihdettu, katkaisijoiden asento tarkistettu ja valokaarireleen etupaneelissa palaa kaksi merkkivaloa, U_{aux} sekä I> & Light, voidaan simulaatio aloittaa.

Vikapaikan valinta tapahtuu valokaarikennon kanteen asennetulla nokkakytkimellä S2. Asennossa 2 ylivirta- ja valosignaali syötetään moottorilähdöstä, jolloin ilmakatkaisijan avautuminen aiheuttaa vian häviämisen välittömästi. Asennossa 1 signaalit syötetään keskuksen pääkiskosta, jolloin vika aiheuttaa molempien katkaisijoiden avautumisen. Ilmakatkaisija on kytketty valokaarireleen HSO1-laukaisulähtöön, jonka rele ohjaa aina vikatilanteessa ensimmäisenä auki, joten ilmakatkaisija avautuu molemmissa vikatilanteissa. Koska vika ei häviä asetellun viiveen (150 ms) aikana, rele ohjaa myös lähdön HSO2 aktiiviseksi, mikä puolestaan aiheuttaa SF₆-katkaisijan avautumisen.

Valokaarireleen etupaneelissa on merkkivaloja, joilla rele hälyttää erilaisista häiriötilanteista (kuva 17). Valokaarivian havaittuaan releessä palaa kaksi merkkivaloa; Light-merkkivalo indikoi että rele on havainnut valoa ja TRIP-merkkivalo palaa sen merkinä että rele on suorittanut laukaisun. Rele antaa myös hälytystiedon viasta valvomoon. Valokaarireleen kuittaus valvomosta käsin ei kuitenkaan ole mahdollista tässä sovelluksessa, joten vikasimulaation jälkeen rele täytyy kuitata etupaneelin Reset-painikkeella.



KUVA 17. REA 101 -valokaarirele (Aleksi Leskinen 2012.)

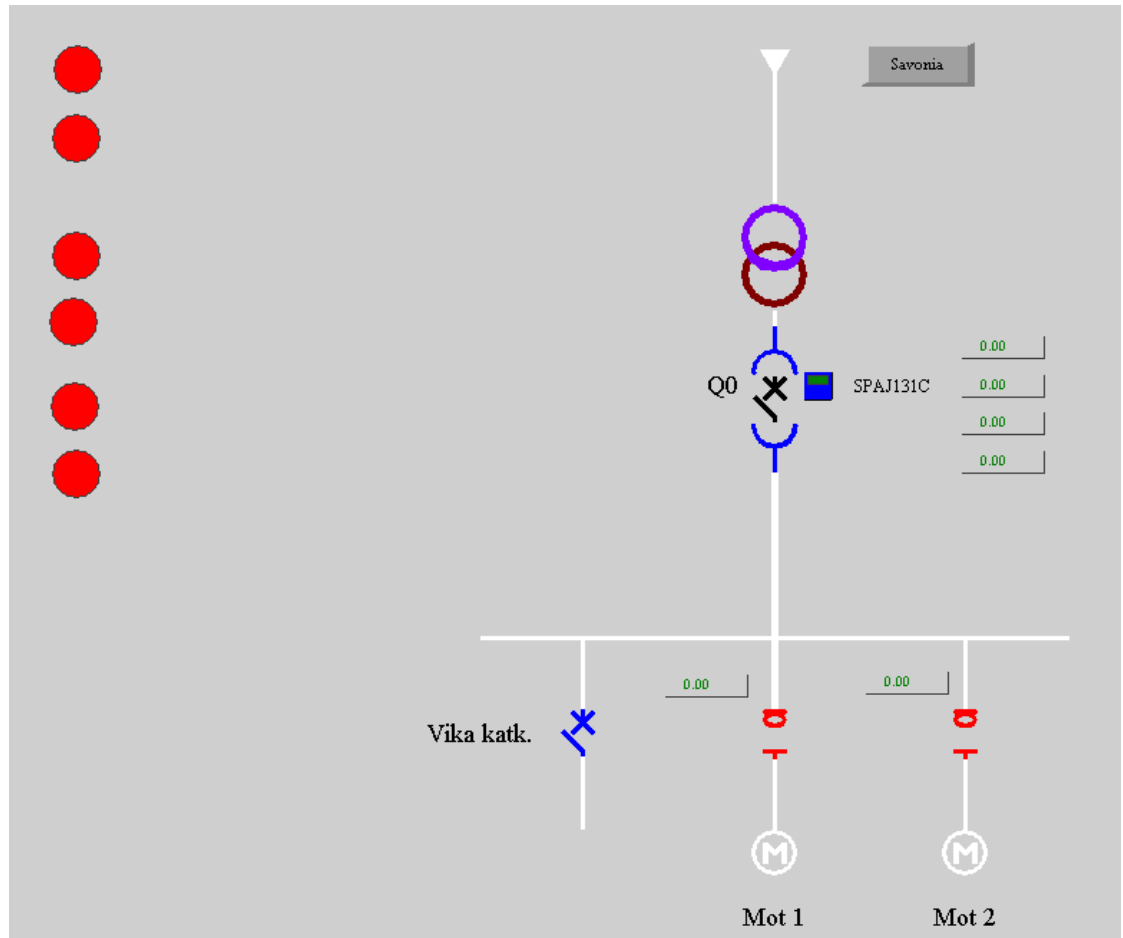
9.4 Valvomon toiminnot

Laboratorion valvomokuvaa käytetään Monitor Pro -sovelluksella, joka käynnistetään valvomokoneen työpöydällä sijaitsevalla pikakuvakkeella. Sovellukseen täytyy ensimmäisenä kirjautua sisään. Tämän jälkeen haluttua kuvaa voidaan tarkastella joko valitsemalla se sovelluksen työkalupaneelistä aktiiviseksi tai avaamalla kuva Main-valikon Open-toiminnolla. Uusin versio valvomokuvan MLK-välilehdestä on esitetty kuvassa 18.

Kuvan vasemmassa laidassa olevat punaiset pallot kuvaavat hälytyksiä. Niitä klikkaamalla avautuu hälytysikkuna, jossa niitä voi tarkastella lähemmin. Kuvan pääkaaviossa syöttöjärjestyksessä ensimmäisenä näkyy välimuuntaja sekä katkaisija vauvuineen. Katkaisijan tietoja voidaan tarkastella ja sitä voidaan ohjata klikkaamalla katkaisijaa, jolloin avautuu Switch Control -ikkuna. Ikkunassa näkyy katkaisijan senhetkinen tila, jonka mukaan katkaisija on mahdollista ohjata auki tai kiinni. Katkaisijan vieressä oikealla puolella on moottorilähtökeskuksen ylivirtarele SPAJ 131 C, jota voidaan myös tarkastella klikkaamalla releen kuvaketta.

Releen oikealla puolella näkyy pääkiskostosta mitattujen suureiden arvot. Mitattavat suuret ovat pääjännite L1-L2 sekä vaihevirrat. Syöttöjärjestyksessä seuraavana ovat katkaisijan jälkeinen kiskosto sekä siihen kytketyt moottorilähdöt. Moottorilähtöjen kontaktorit näkyvät valvomossa punaisena ja niiltä puuttuu kosketin. Tämä johtuu siitä, että kontaktoreiden tilatietojen ilmaisemiseen tarvittaville välireleille ei ole kytketty jännitettä, jolloin yhden kontaktorin kumpikaan tilatieto ei ole aktiivinen. Tästä syystä ohjelma ilmoittaa kontaktorin olevan Intermediate-tilassa, jolloin se ei ole auki eikä kiinni. Kontaktoreiden tilatiedon aktivoitumista voi testata syöttämällä apureleiden kelalle jännitteen, jolloin rele vetää ja sulkee koskettimensa ja tämän seurauksena kyseisen tilatiedon tulokanava aktivoituu.

Ohjelmointivaiheessa aktivoitiin moottorilähtöjä varten kaksi mittauskanavaa, joihin voidaan syöttää mittaustietoa esim. lähtöjen vaihevirtojen mittauksesta. Mittauskanavien arvot näkyvät pääkaaviossa moottorilähtöjen alussa. Pääkatkaisijan jälkeiseen kiskostoon on kytketty myös maadoituskytkin, joka näkyy myös valvomokuvassa. Tässä työssä maadoituskytkimen tilatietoa ei kuitenkaan ohjelmoitu SCADAan, joten sen todellista asentoa ei voi tarkastella valvomosta.



KUVA 18. Valvomokuvan MLK-lehti Monitor Pro:ssa (Aleksi Leskinen 2012.)

10 KESKUKSEN JATKOKEHITYS

Moottorilähtökeskuksen kehittämistä voi jatkaa monin eri tavoin, ja se todennäköisesti myös jatkuu tulevaisuudessa opiskelijoiden tekeminä projektitöinä. Tässä osiossa on esitetty opinnäytetyön aikana syntyneitä ideoita ja ajatuksia siitä, miten keskusta voisi tulevaisuudessa kehittää.

Keskukseen voisi rakentaa yhden tai kaksi moottorilähtöä erilaisine kuormituksineen, jolloin opiskelijat saisivat käsityksen moottorilähdön tyypillisestä rakenteesta ja komponenttien mitoituksista käytännössä. Keskuksessa on vapaana kuusi moottorilähtöä, mutta logiikan vapaiden kanavien lukumäärä rajoittaa lähtöjen lukumäärän kahteen edellyttäen, että lähtöjä halutaan ohjata ja monitoroida valvomosta. Moottorilähtöjen suunnittelussa suurin haaste on keskuksen hankala kiskojännitteen taso (42 V), jolle on erittäin hankala löytää sopivaa moottoria.

Opinnäytetyön aikana mietittiin muutamia vaihtoehtoja kiskojänniteongelman ratkaisemiseksi: kiskojännitteen nostaminen muuntajalla moottorille sopivaksi jännitteeksi, kiskojännitteen tasasuuntaaminen ja tasavirtamoottorin käyttö, tai sen selvittäminen, olisiko jollakin valmistajalla halukkuutta valmistaa sopivaa moottoria yhden tai kahden kappaleen yksittäistilauksena.

Kuten todettua, keskuksessa on nyt toimiva valokaarisimulaatio, mutta yhtenä keskuksen kehittämistoimenpiteenä voisi tulevaisuudessa olla muiden vikatilanteiden, kuten oikosulkuvikojen ja ylikuormitustilanteiden simulointikytkentöjen, rakentaminen sekä niiden suojauksen toteuttaminen. Tällä tavalla myös syöttökentässä oleva ylivirtarele saataisiin hyötykäyttöön. Tämä kuitenkin edellyttää suojausvirtamuuntajien hankkimista ja asentamista keskukseen, sillä tämänhetkiset virtamuuntajat ovat nimenomaan mittauskäyttöön soveltuvia virtamuuntajia eikä niitä voi käyttää viasta aiheutuvan hetkellisen ylivirran muuntamiseen.

11 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aloitusvaiheessa tärkeimmäksi tavoitteeksi määriteltiin automaatioliitynnän tekeminen SCADAan, jotta moottorilähtökeskusta voitaisiin käyttää valvomosta käsin ja jotta se saataisiin osaksi laboratorion valvomokuvaa. Muita tavoitteita oli erilaisten vikasimulaatioiden suunnittelu ja tekeminen sekä yhden tai useamman moottorilähdön rakentaminen.

Työssä täytyi perehtyä erilaisiin teollisuuden sähkönjakelun osa-alueisiin yksittäisistä komponenteista aina laajempiin kokonaisuuksiin saakka. Yhtenä esimerkkinä mainittakoon moottorit ja etenkin sellaisen moottorin etsiminen, jota voitaisiin käyttää 42 V:n jännitteellä. Yhtenä suurena kokonaisuutena oli tietenkin myös automaatioliitynnän toteutus ja siihen kuuluvien laitteiden, kuten ohjauskeskuksen ja sen sisältämien komponenttien selvitys-, suunnittelu- ja asennustyö.

Työn tärkein tavoite täyttyi eli automaatioliityntä saatiin toteutettua. Lisäksi keskuksen rakennettiin toimiva valokaarivikaa simuloiva kytkentä. Moottorilähtiin kytkettävien kuormitusten suunnittelu vei paljon aikaa keskuksen kiskoston hankalan jännitetason vuoksi. Tästä syystä moottorilähtöjen suunnittelu päätettiin rajata tämän työn ulkopuolelle. Myös automaatioliitynnän tekeminen osoittautui yllättävän työlääksi, joten se vei luonnollisesti aikaa muulta suunnittelutyöltä.

Kaiken kaikkiaan työtä voidaan pitää onnistuneena, sillä moottorilähtökeskuksessa on nyt paljon paremmat valmiudet opetuskäyttöön ja erilaisiin projektitöihin kuin työtä aloitettaessa. Työ oli myös erittäin mielenkiintoinen ja monipuolinen, mutta myös haastava ja opettavainen.

LÄHTEET

ABB. 2011a. Data Sheet Analog Input 23AE23. [verkkojulkaisu] [viitattu 23.10.2012]

Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/97f28d25b148f8eac1257847004de4c4/\\$file/E560_AE23_DS.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/97f28d25b148f8eac1257847004de4c4/$file/E560_AE23_DS.pdf)

ABB. 2011b. Data Sheet Binary Input 23BE23. [verkkojulkaisu] [viitattu 23.10.2012]

Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/a384c03eca766ad6c1257847004e6c73/\\$file/E560_23BE23_DS.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/a384c03eca766ad6c1257847004e6c73/$file/E560_23BE23_DS.pdf)

ABB. 2011c. Data Sheet Binary Output 23BA20. [verkkojulkaisu] [viitattu 23.10.2012]

Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/58009e72bd3fc572c1257847004e1c96/\\$file/E560_23BA20_DS.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/58009e72bd3fc572c1257847004e1c96/$file/E560_23BA20_DS.pdf)

ABB. 2011d. Data Sheet Communication Unit 560CMU02 R0002. [verkkojulkaisu]

[viitattu 22.10.2012] Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/4369af77acad3e03c12578470051ac4f/\\$file/e560_cmu02_r0002_ds.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/4369af77acad3e03c12578470051ac4f/$file/e560_cmu02_r0002_ds.pdf)

ABB. 2011e. Data Sheet Mounting Plate Rack 560MPR01. [verkkojulkaisu] [viitattu

20.10.2012] Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/757e52133c788350c12578470052e105/\\$file/e560_mpr01_ds.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot258.nsf/veritydisplay/757e52133c788350c12578470052e105/$file/e560_mpr01_ds.pdf)

ABB. 1999/a. REA 101 Valokaarireleen asennus- ja käyttöohje. [verkkojulkaisu]

[viitattu 15.10.2012] Saatavissa:

[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot229.NSF/VerityDisplay/09F6A55963022C00C2256EF20033DFF7/\\$File/REA101Fld.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot229.NSF/VerityDisplay/09F6A55963022C00C2256EF20033DFF7/$File/REA101Fld.pdf)

ABB. 1999/b. SPAJ 131 C Ylivirtareleen käyttöohje ja tekninen selostus.

[verkkojulkaisu] [viitattu 15.10.2012] Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/3f251ca9b6c12de7c2256c7e004628b6/\\$file/fm_spaj131c_fi_bca.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/3f251ca9b6c12de7c2256c7e004628b6/$file/fm_spaj131c_fi_bca.pdf)

ABB. 2000. *Teknisiä tietoja ja taulukoita*. Vaasa.

Elovaara, J. & Laiho, Y. 2001. *Sähkölaitostekniikan perusteet*. Helsinki: Otatieto.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2007 *Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat*. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Lyytikäinen, H. 2011. *Teollisuuden sähköjakeluverkon mallintaminen*. Savonia-ammattikorkeakoulu, Tekniikka Kuopio. Opinnäytetyö. [viitattu 24.8.2012] Saatavissa: http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38348/Lyytikainen_Heikki.pdf?sequence=1

Mäkinen, J. & Kallio, R. 2004. *Teollisuuden sähköasennukset*. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Rissanen, R. 2010. *Teollisuuden sähköasennukset ja -verkot*. Savonia-ammattikorkeakoulu. Kuopio. Luentomateriaali.

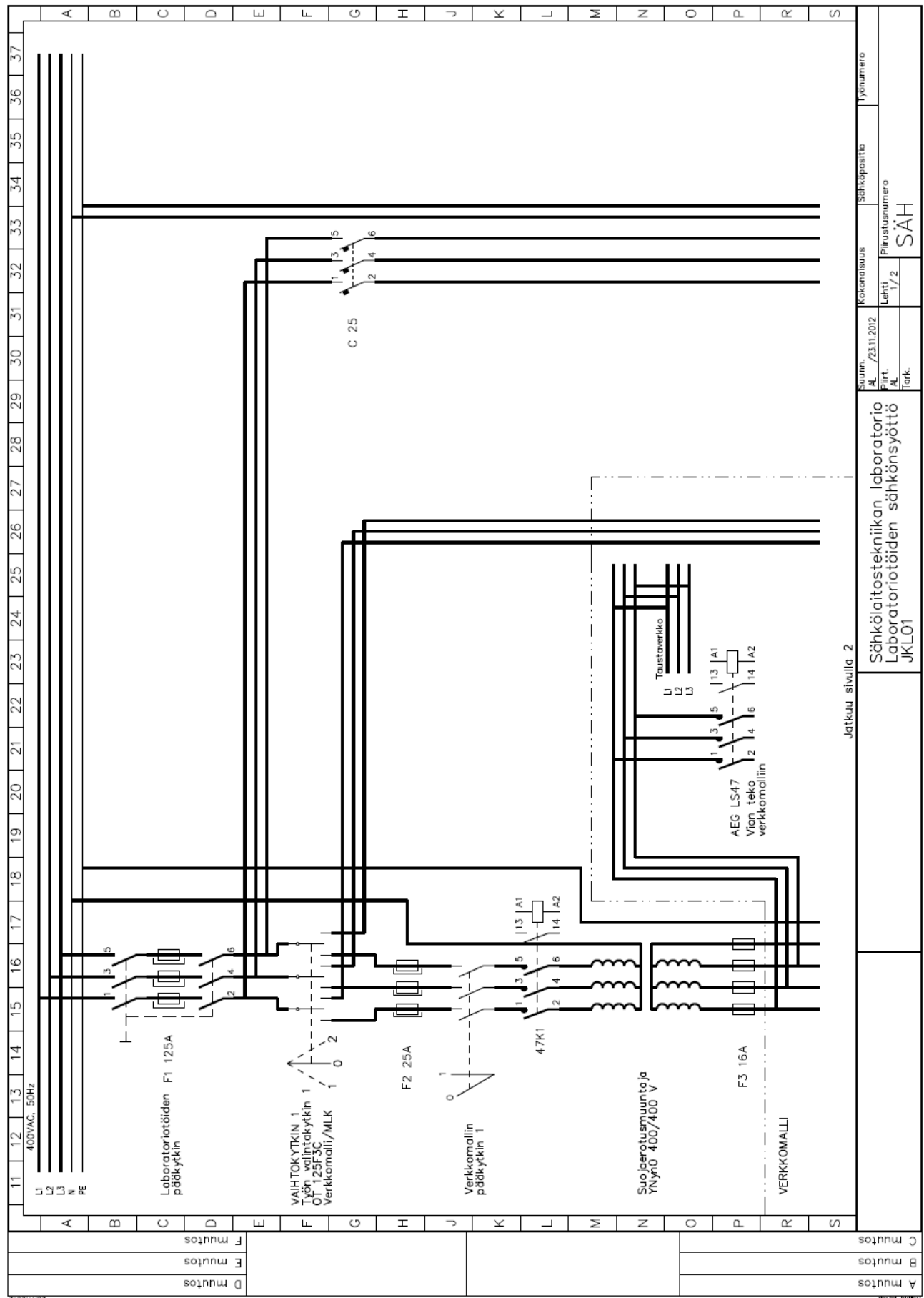
Rouvali, J. 2011. *Sähköjakelun automaatio*. Savonia-ammattikorkeakoulu. Kuopio. Luentomateriaali.

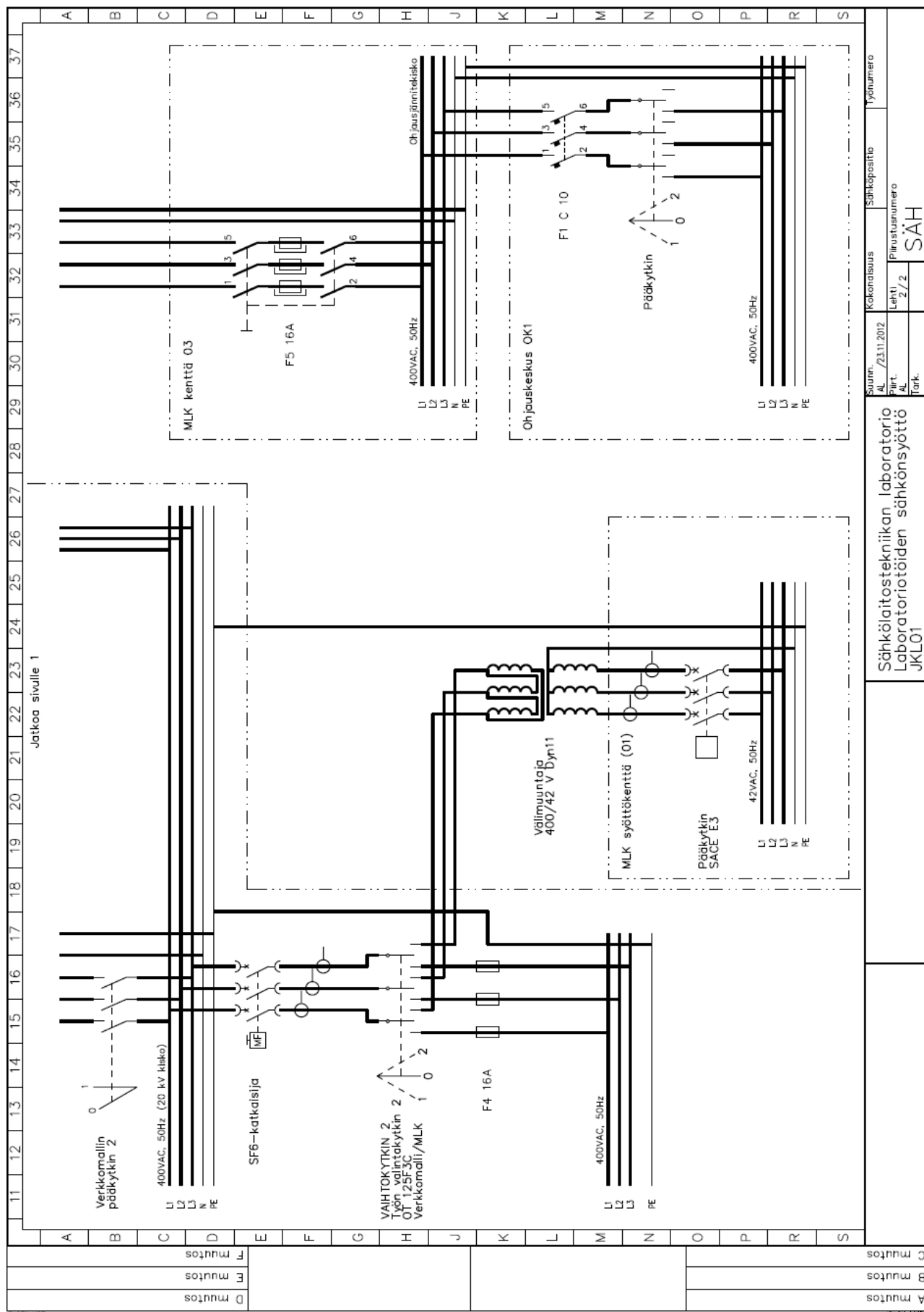
Sikanen, H. 2011. *Sähkömittaustekniikka*. Savonia-ammattikorkeakoulu. Kuopio. Luentomateriaali.

Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto. 2009. *D1-2009 käsikirja rakennusten sähköasennuksista*. Helsinki: Painokurki Oy.

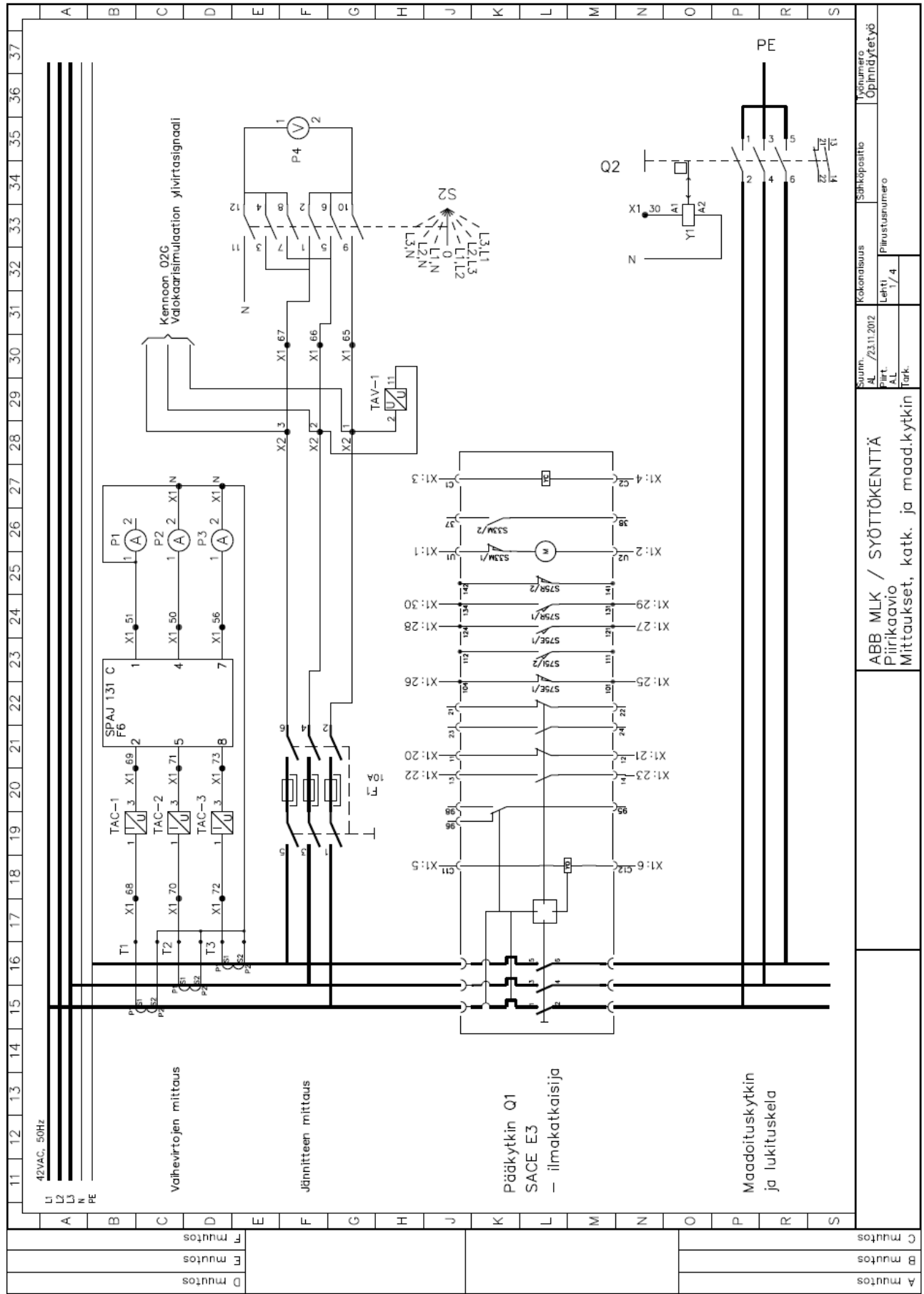
UTU POWEL Oy Komponentit. 2008. Tuoteluettelo 2008. [verkkojulkaisu] [viitattu 14.9.2012] Saatavissa: http://www.utupowel.fi/files/utupowel.fi/attachments/PDF/circutor/Cirkutor_M7_01_finaal.pdf

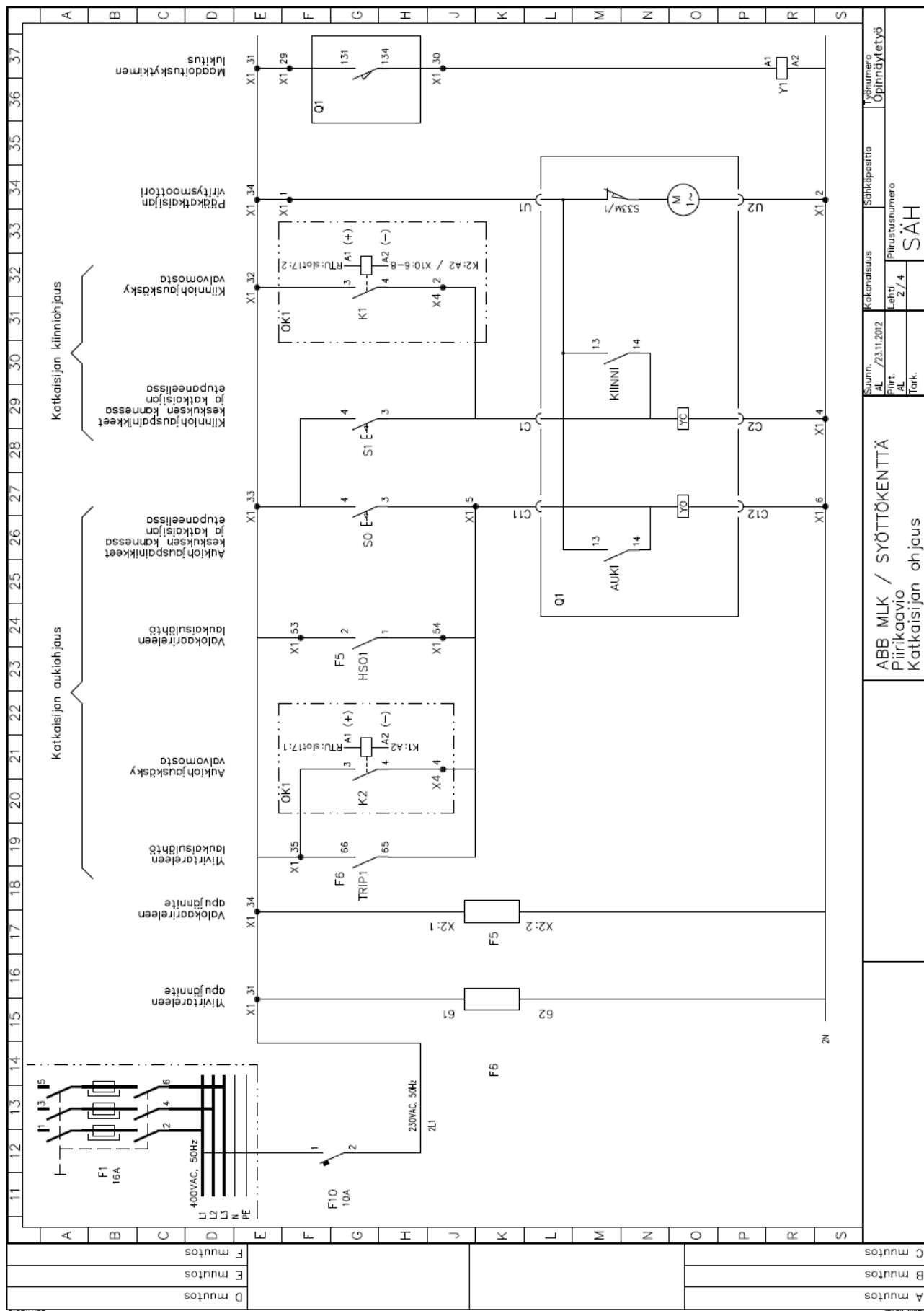
23.11.2012

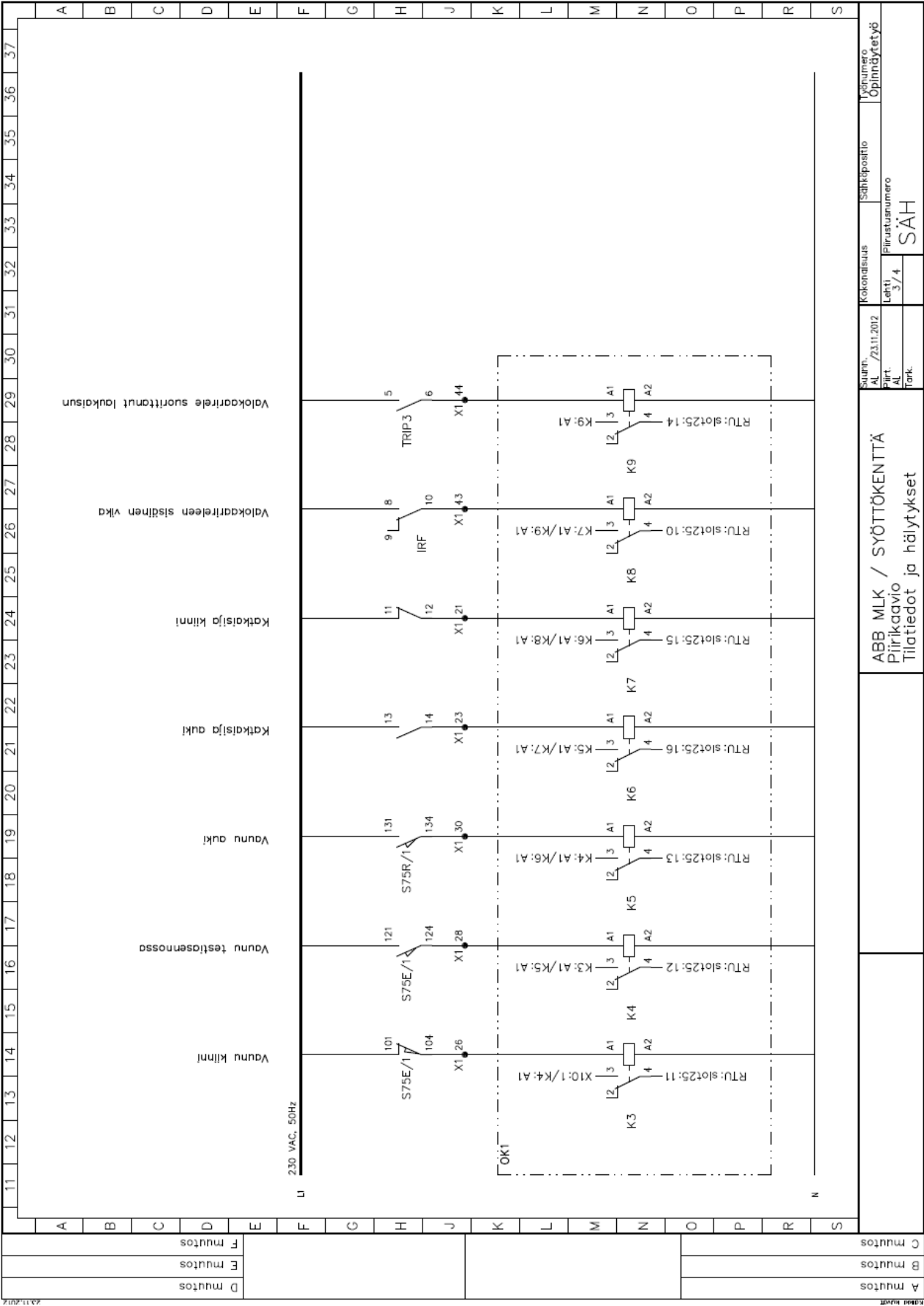




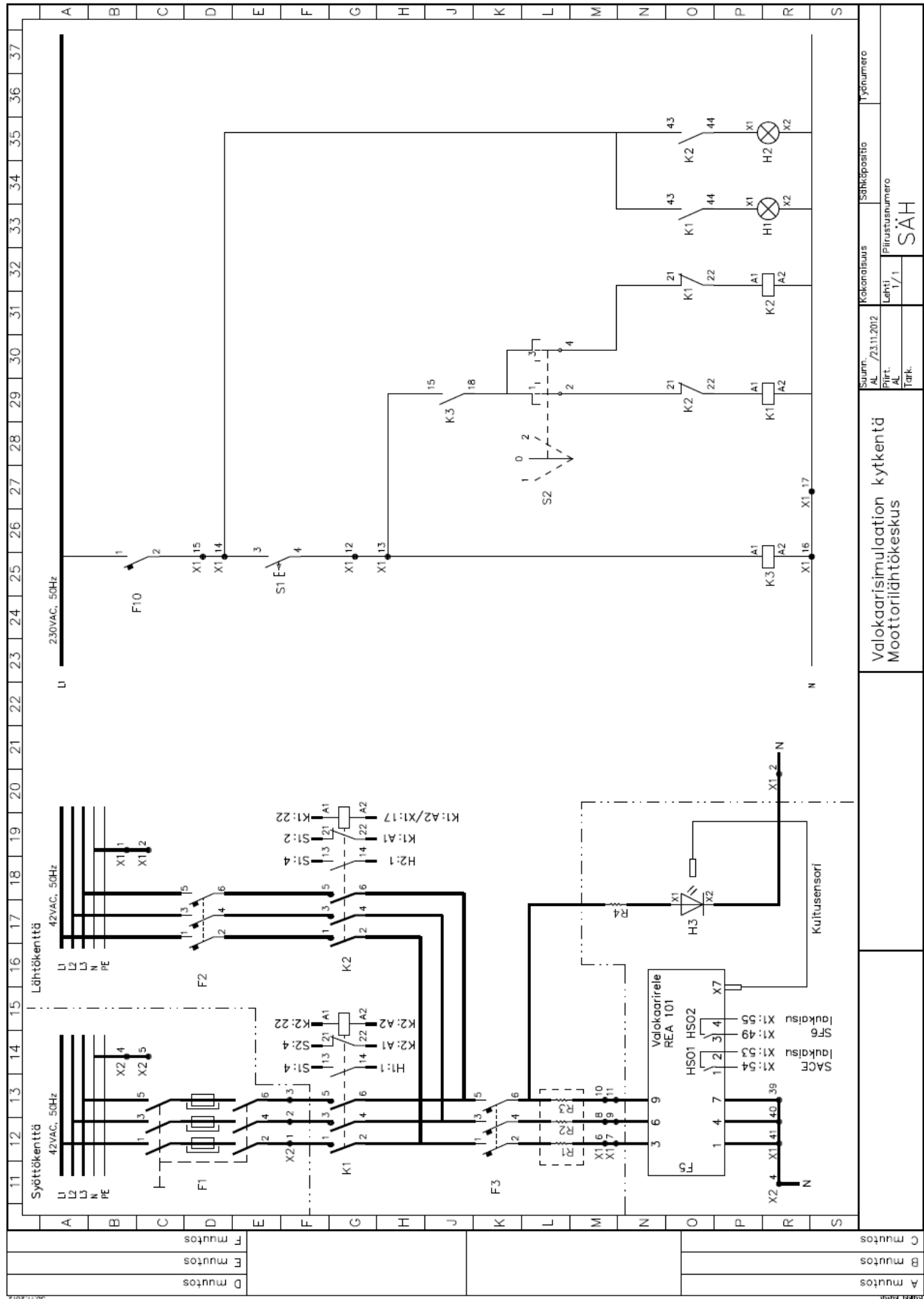
MOOTTORILÄHTÖKESKUKSEN SYÖTTÖKENTÄN PIIRIKAAVIOT



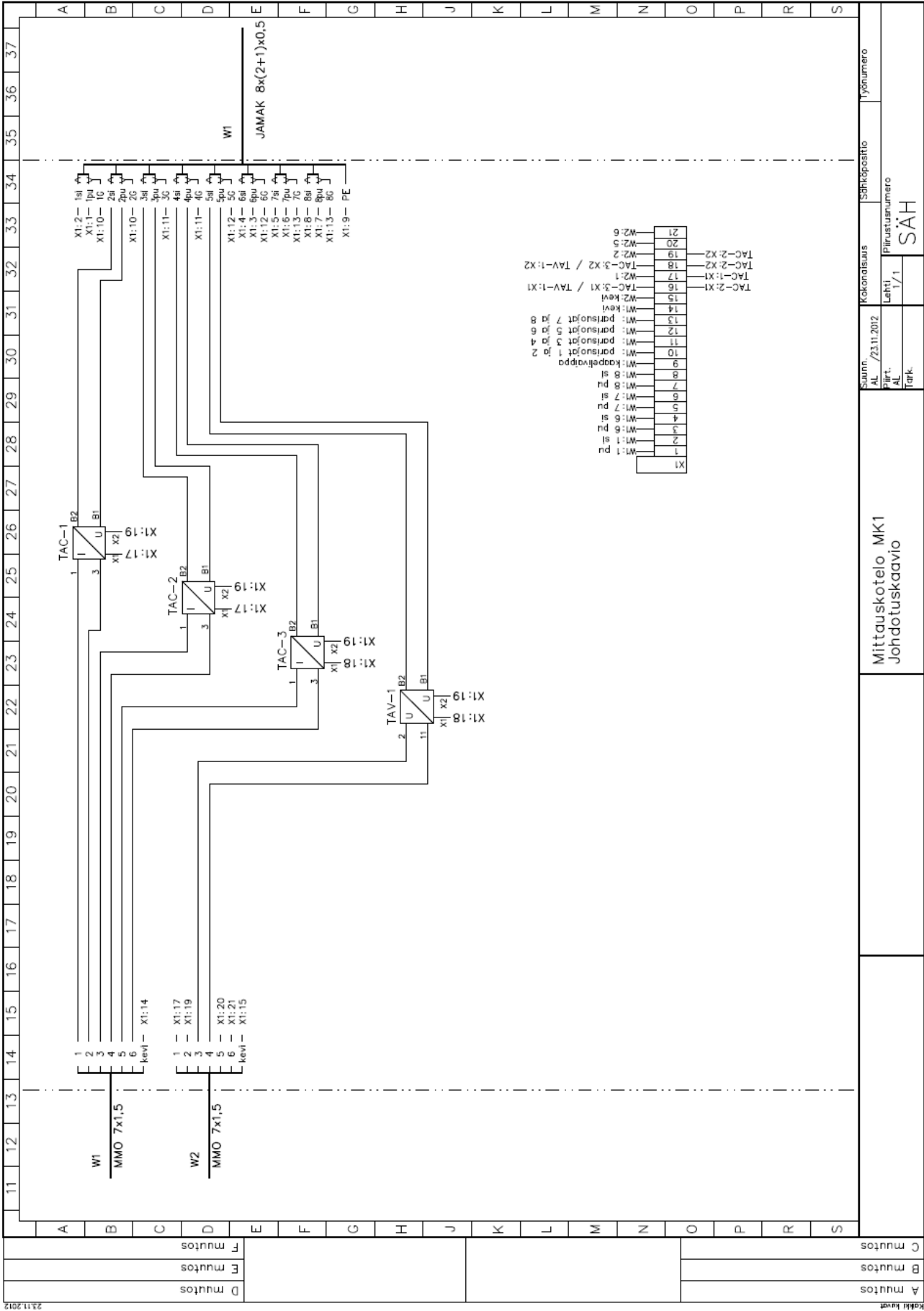




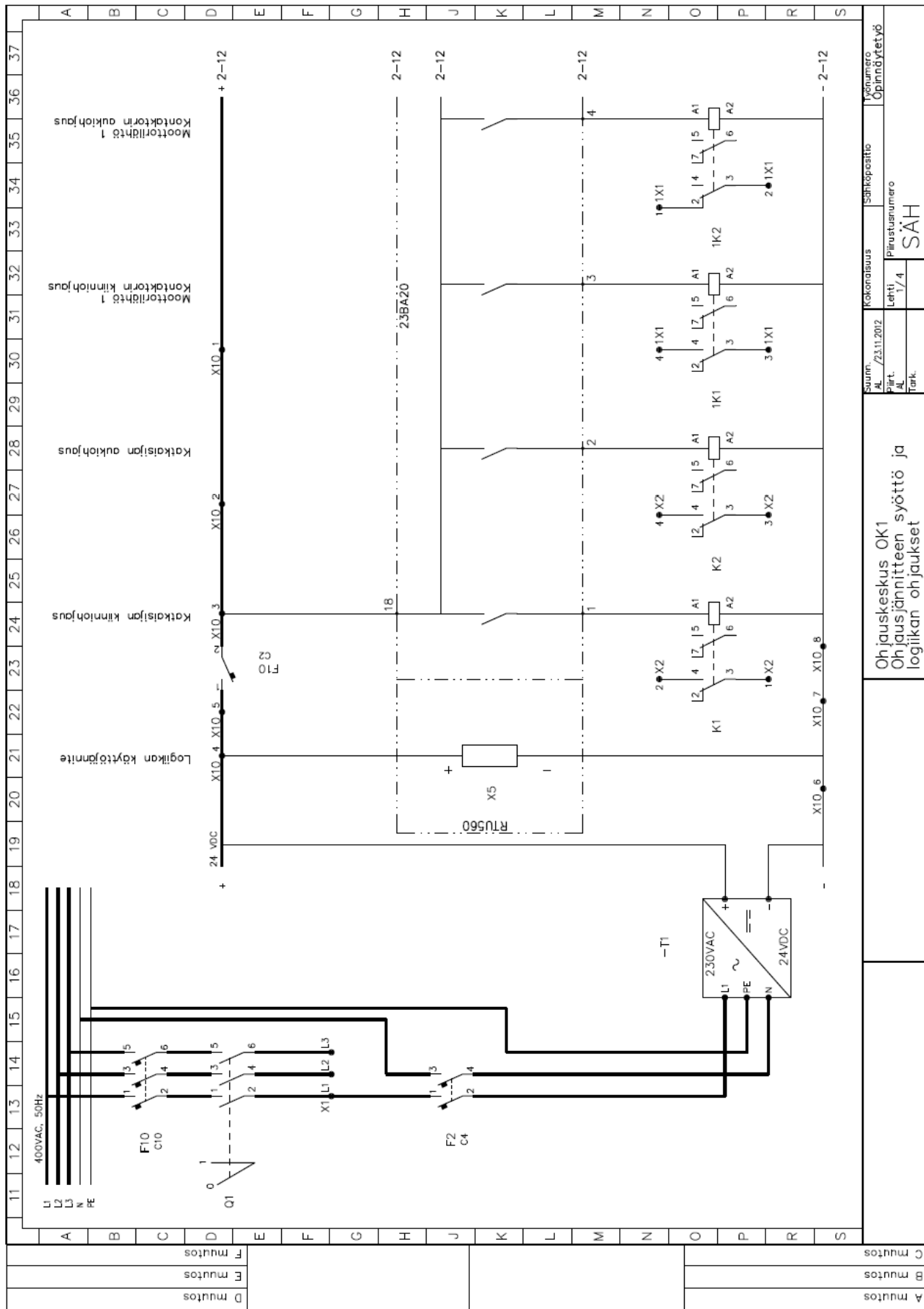
30.11.2012

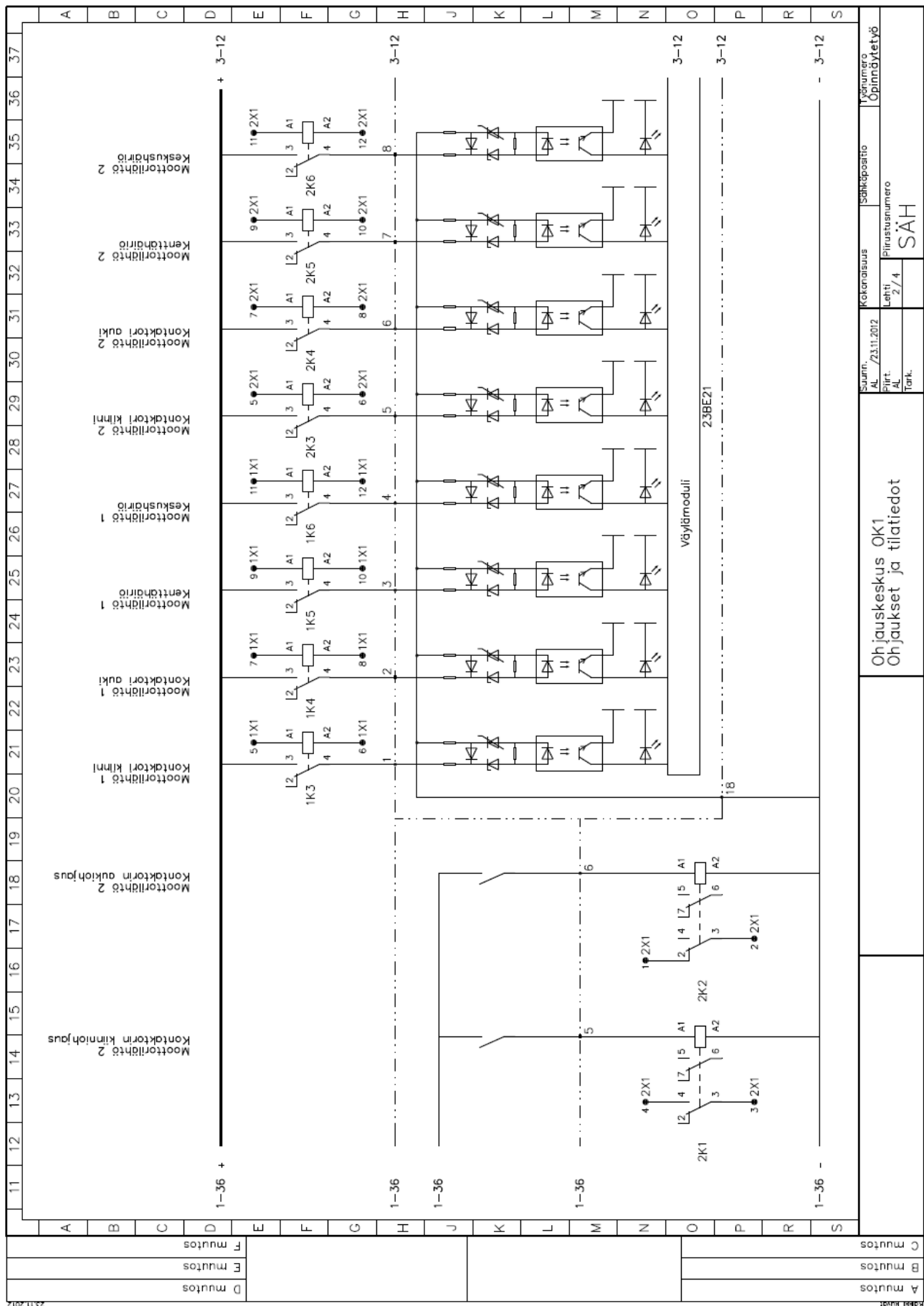


MITTAUSKOTELON JOHDOTUSKAAVIO



FINFITE





OHJAUSJOHTOKAAVIO

